UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

SCHRIFTENREIHE PRODUKTIONSTECHNIK



Herausgeber: D. Bähre und H. Bley

Band 46

Lars Weyand

Risikoreduzierte Endmontageplanung am Beispiel der Automobilindustrie

---

Saarbrücken 2010

Risikoreduzierte Endmontageplanung am Beispiel der Automobilindustrie

Dissertation zur Erlangung des Grades des
Doktors der Ingenieurwissenschaften
der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät III
– Chemie, Pharmazie, Bio- und Werkstoffwissenschaften –
der Universität des Saarlandes

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Lars Weyand

Tag der Einreichung: 27.10.2009
Tag des Kolloquiums: 29.04.2010

Dekan:	Prof. Dr.-Ing. Stefan Diebels
Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. Stefan Diebels
1. Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Helmut Bley
2. Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh
3. Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. Dirk Bähre
Akademischer Mitarbeiter:	Dr.-Ing. Joachim Schmitt

Saarbrücken 2010

Lars Weyand

Risikoreduzierte Endmontageplanung am Beispiel der Automobilindustrie

Universität des Saarlandes
Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 46

Geleitwort der Herausgeber

Die Schriftenreihe Produktionstechnik wird gemeinsam vom aktuellen und ehemaligen Inhaber des Lehrstuhls für Fertigungstechnik (Prof. Dr.-Ing. D. Bähre, Prof. Dr.-Ing. H. Bley) der Universität des Saarlandes herausgegeben. Zweck der Schriftenreihe ist es, die auf dem Gebiet der Produktionstechnik an der Universität des Saarlandes erarbeiteten Forschungsergebnisse einer breiteren Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen. In der Schriftenreihe erscheinen in erster Linie die an den Lehrstühlen entstandenen Dissertationen. Daneben werden aber auch andere Forschungsberichte, die in den thematischen Rahmen passen und von allgemeinem Interesse sind, in die Schriftenreihe aufgenommen. Die Herausgeber wünschen sich ein reges Interesse an der Schriftenreihe und würden sich freuen, wenn hieraus fruchtbare Dialoge mit Praktikern und Forschern entstünden.

Prof. Dr.-Ing. D. Bähre
Prof. Dr.-Ing. H. Bley

Lehrstuhl für Fertigungstechnik
Prof. Dr.-Ing. D. Bähre
Postfach 15 11 50
D – 66041 Saarbrücken
ISBN 978-3-930429-75-2
ISSN 0945–6244

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungstechnik der Universität des Saarlandes.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr.-Ing. Helmut Bley, dem ehemaligen Inhaber des Lehrstuhls für Fertigungstechnik der Universität des Saarlandes, der mir die Möglichkeit zur Promotion eröffnet und zudem meine Arbeit stets unterstützt hat. Darüber hinaus hat Herr Professor Dr.-Ing. Helmut Bley mir die Gelegenheit geboten an einer Vielzahl von internationalen Konferenzen aktiv teilzunehmen und somit von den Diskussionen mit dem Fachpublikum zu profitieren. Auch dafür möchte ich mich explizit bedanken.

Herrn Professor Dr.-Ing. Michael Zäh, dem Leiter des Instituts für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München, danke ich für die Bereitschaft zur Erstellung des Zweitgutachtens und für sein generelles Interesse an der Arbeit. Herrn Professor Dr.-Ing. Dirk Bähre, dem heutigen Inhaber des Lehrstuhls für Fertigungstechnik der Universität des Saarlandes, danke ich nicht nur für die Bereitschaft zur Erstellung des Drittgutachtens, sondern auch dafür, dass er mich sehr herzlich in seiner neuen Arbeitsgruppe willkommen geheißen hat.

Ferner gilt mein Dank den ehemaligen und neuen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Fertigungstechnik, meinen studentischen Hilfskräften und ehemaligen Studienarbeitern, den ehemaligen Kollegen des Lehrstuhls für Konstruktionstechnik sowie den Mitarbeitern des Lehrstuhls für Technische Mechanik. Herrn Dr.-Ing. Michael Oberhausen, Herrn Bernd Schmitt und Frau Dipl.-Ing. Annika Halle danke ich für die kritische Durchsicht der Arbeit sowie für ihre wertvollen Anregungen. Den Teilnehmern des EU-Projektes MyCar danke ich für die erfolgreiche Zusammenarbeit. Bei Herrn Dr.-Ing. Thomas Bär von der Daimler AG und seinem Team sowie bei Herrn M.Sc. Amit Eytan vom FIAT Centro Ricerche und seinen Kollegen bedanke ich mich für die Unterstützung in Bezug auf die Ermittlung der Ist-Situation im Bereich der Endmontageplanung und die vielen hilfreichen Diskussionen. Bei Frau Dipl.-Ing. (FH) Karina Schäfer von der EDAG GmbH & Co. KGaA bedanke ich mich für ihre Hilfsbereitschaft. Herrn Dipl.-Ing. (FH) Michael Baumeister und Herrn Dipl.-Ing. (FH) Henning Bruns von der Cenit AG gilt mein spezieller Dank für die überaus gute Zusammenarbeit.

Nicht zuletzt danke ich meiner Familie und Freundin für die Unterstützung während der Promotion.

Zusammenfassung

Der Trend zur Individualisierung wird sich im Automobilsektor fortsetzen. Dies bedeutet für Automobilhersteller, dass sie zukünftig eine höhere Anzahl an Produkten und Produktvarianten auf einer Montagelinie herstellen müssen. Allerdings ist deren derzeitige Technische Produktionsplanung nur bedingt auf dieses Szenario vorbereitet. Es existieren methodische und operative Defizite, die zu einem erhöhten Risiko auf dem Gebiet der Planung von flexiblen, kosteneffizienten Endmontagelinien führen. Speziell in den frühen Phasen des Planungsprozesses ist es möglich, dass suboptimale Lösungen favorisiert werden. Ferner kann es vorkommen, dass Planungsfehler auftreten, da mitunter ein Mangel an Transparenz in den digitalen Planungstools vorherrscht. Diese Missstände können zu zeit- und kostenintensiven Änderungsschleifen führen.

In dieser Arbeit ist ein Konzept aufgezeigt, welches zu einer risikoreduzierten Endmontageplanung beiträgt. Der spezielle Ansatz beschäftigt sich mit den frühen Planungsphasen. Generell werden die Prozessplanung, die Ressourceplanung, die Austaktung sowie der Schritt der digitalen Absicherungen adressiert, wobei auch das Thema der Wiederverwendung von bestehenden Ressourcen und das Thema der Volumenflexibilität explizit berücksichtigt werden. Ein Planungsablauf ist entwickelt, der die einzelnen Planungsaktivitäten sinnvoll miteinander verbindet.

Zur Erhöhung der Transparenz im Bereich der Prozess- und Ressourceplanung werden spezielle digitale Graphen eingesetzt, die eine nachvollziehbare und objektive Bewertung der im Graph vorhandenen Varianz erlauben und die Planer in die Lage versetzen kritische Bereiche zu identifizieren. Durch die Berücksichtigung und Dokumentation von Austaktungsrestriktionen im Prozessgraph wird die bereichsübergreifende Zusammenarbeit verbessert und somit das Risiko von Fehlentscheidungen minimiert. Die Wiederverwendungsplanung wird auf Basis einer digitalen Wiederverwendungsbibliothek durchgeführt. Wird wiederverwendbares Equipment im Planungsprozess identifiziert, so kann das Investitionsvolumen in Arbeitsmittel reduziert und das Risiko von möglichen Fehlinvestitionen minimiert werden. Eine zusätzliche Flexibilitätsuntersuchung hilft Automobilherstellern Montagelinien zu entwerfen, die auch in Hinblick auf mögliche extreme Nachfragesituationen, die unmittelbar nach dem Produktionsbeginn auftreten können, vorbereitet sind.

Abstract

The individualization trend will go on in the automotive sector. For car manufacturers, this means that they will have to produce more products and product variants in one assembly line. However, their current technical production planning is only partly prepared for this scenario. There are methodical and operational shortcomings which lead to an increased risk to the creation of flexible, cost-efficient final assembly lines. It is possible that suboptimal solutions are favoured, especially in the early planning process. Moreover, planning mistakes could possibly occur because of a lack of transparency in the digital planning tools. These shortcomings can lead to time- and cost-intensive loops in the planning workflow.

A concept which contributes to a risk-reduced final assembly planning is introduced. This special approach deals with the early phases of planning. In general, the steps of process planning, resource planning, line balancing and digital validation checks are discussed, whereas the reuse of already existing equipment and the topic of ensuring volume flexibility are explicitly dealt with as well. A planning workflow which makes clear how the different planning activities belong together is developed.

In order to increase the transparency in the area of process/resource planning, special digital graphs allowing a comprehensible and objective assessment of the existing variance in the graphs and enabling planners to identify critical areas are used. Based on the consideration and documentation of line balancing restrictions within the process graph, the cross-functional cooperation is improved and thus the risk of incorrect decisions is minimized. The reuse planning is performed based on a digital reuse library. The necessary investments regarding work equipment can be reduced and the risk of possible false investments can be minimized if reusable equipment is identified within the planning process. An additional flexibility investigation helps car manufacturers in developing final assembly lines which are also prepared with respect to possible situations of extremely high or low demand that can occur directly after the start of production.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Die Automobilindustrie befindet sich in vielen Bereichen im Wandel. Der Wettbewerb auf den globalen Märkten nimmt stetig zu, und für die Automobilhersteller sowie für deren Zulieferer wird es schwieriger profitabel zu agieren [Beck07, HüBa07]. Neue Produkte werden immer schneller und in zunehmender Vielfalt auf den Markt gebracht [Meic07, ScSS08]. Viele Automobilhersteller fühlen sich regelrecht dazu gezwungen ihre Modelloffensiven in kürzerer Zeit zu absolvieren, um den Kundenansprüchen gerecht zu werden und am Markt überleben zu können. Es ist ein deutlicher Trend von der reinen Massenproduktion zur kundenindividuellen und somit variantenreichen Fahrzeugproduktion zu verzeichnen [PMAM06, Wagn06, Bär08].

Potentielle Fahrzeugkäufer sind nicht so markentreu wie über lange Zeit angenommen [GüHe06, Holl09, Kirs09]. Vor dem Kauf werden üblicherweise Fahrzeuge unterschiedlicher Hersteller in Betracht gezogen und unter verschiedenen Gesichtspunkten verglichen. Überaus wichtige Kaufkriterien sind zwar nach wie vor die Produktanmutung, der Produktpreis und das Markenimage, aber auch Themen wie Umweltfreundlichkeit und im Kaufpreis enthaltene Dienstleistungen gewinnen an Bedeutung. Des Weiteren wollen die meisten Neuwagenkäufer heutzutage nicht mehr ein so genanntes „Auto von der Stange“ erwerben, sondern ihr Fahrzeug in vielerlei Hinsicht individuell konfigurieren. Hersteller, die gewisse Konfigurationsmöglichkeiten nicht bieten, verringern ihre Marktchancen.

Es ist davon auszugehen, dass sich der Trend zur individuellen Fahrzeugproduktion weiter fortsetzen wird. Dies ist auch das Ausgangsszenario für das EU-Projekt „Flexible Assembly Processes for the Car of the Third Millennium (MyCar)“, an dem bekannte Automobilhersteller (Daimler, Fiat, Ford, Volvo), namhafte Zulieferer (Siemens, EDAG, Comau, Prima Industrie, Harms & Wende, Tünkers), IT-Spezialisten (Cenit, Consulting and Software Products – CASP, Emphasis Telematics) sowie Universitäten aus Schweden (Universität Chalmers, Universität Skövde), Griechenland (Universität Patras) und Deutschland (Universität Karlsruhe, Universität des Saarlandes) teilnehmen.

Die hohen Ansprüche der Kunden sowie die vorherrschenden Marktbedingungen stellen die Automobilhersteller vor neue Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt. Deren laufende Produktion sowie deren Produktionsplanung für zukünftige Fahrzeuge werden entscheidend von der veränderten Gesamtsituation tangiert, da sie variantenreicher, flexibler und kostengünstiger produzieren müssen. Allerdings scheint die Automobilindustrie im Bereich der Technischen Produktionsplanung nur teilweise auf die neuen Anforderungen vorbereitet zu sein.

Auch wenn heutzutage ein komplettes Scheitern eines Fahrzeugprojektes so gut wie ausgeschlossen werden kann, so kann es durchaus noch zu zeit- und kostenintensiven Änderungsschleifen im Planungsgeschehen kommen, die die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens temporär gefährden. Das derzeit existierende Planungsrisiko in Bezug auf womöglich erforderlich werdende zeit- und kostenintensive Änderungsschleifen kann als hoch angesehen werden. Bei vielen Automobilherstellern gibt es auf diesem Gebiet einen methodischen sowie operativen Handlungsbedarf. Zwar hat sich über die letzten Jahre viel im Bereich der IT-unterstützten Planung von Produktionslinien getan, die Aktivitäten im Bereich der Digitalen Fabrik sind aber noch nicht abgeschlossen [AvBW07, Schl08, CMPM09, VWBZ09].

Speziell in den frühen Phasen der Endmontageplanung besteht ein Handlungsbedarf zur Eindämmung des Risikos von Fehlentscheidungen und suboptimalen Auslegungen. Das derzeit existierende Planungsrisiko bei der Gestaltung von Montagelinien muss ohne eine gravierende Erhöhung des Planungsaufwandes reduziert werden, damit neue Produkte unter technisch und wirtschaftlich sinnvollen Gesichtspunkten im ursprünglich anvisierten Zeitraum auf den Markt gebracht werden können. Hierbei gilt es zu beachten, dass ein methodischer Mehraufwand evtl. durch operative Verbesserungen kompensiert werden kann. Ferner müssen Überlegungen erfolgen, wie vielversprechende Themen – im Speziellen die Thematik der Wiederverwendung von bereits vorhandenen Ressourcen sowie die Thematik der Volumenflexibilität – eine explizite Berücksichtigung im Planungsgeschehen finden können, da sie ebenfalls entscheidend zur Risikoreduzierung beitragen.

1.2 Motivation/Ziel der Arbeit

In der Montageplanung besteht naturgemäß ein gewisses Risiko, dass es zu suboptimalen Auslegungen von Montagelinien kommen kann, da mit ungenauen Daten und einer hohen Datenmenge gearbeitet wird. Insofern ist davon auszugehen, dass nur in den seltensten Fällen das Planungsergebnis vollständig die real bestehenden Anforderungen, z. B. in Hinblick auf die erforderlichen Ausbringungsmengen, bei Produktionsbeginn erfüllen kann. Dieser Sachverhalt kann jedoch nicht als Vorwand für die Unterlassung von Verbesserungen an bestehenden Planungsabläufen akzeptiert werden. Ein adäquates Planungsvorgehen sollte sicherstellen, dass sich die letztlich auftretenden Abweichungen in einem annehmbaren Rahmen bewegen oder aber dass sich die Abweichungen schnell und kostengünstig beheben lassen.

Wird die derzeitige Situation im Bereich der Planung von Endmontagelinien in der Automobilindustrie betrachtet, so ist festzustellen, dass – in Abhängigkeit von dem betrachteten Unternehmen – durchaus noch methodische als auch operative Defizite bestehen. Diese Defizite werden im Rahmen der Arbeit auf einer allgemeinen Ebene diskutiert. Darauf aufbauend wird ein neues Konzept vorgestellt, welches dazu beiträgt, das Planungsrisiko im Bereich der Montageplanung zu reduzieren. Der Fokus der Arbeit liegt dabei eindeutig auf den frühen Phasen der Endmontageplanung – von der Prozess- und Ressourceplanung, der Austaktung bis hin zu dem Schritt der digitalen Absicherungen. Darüber hinaus werden aber auch zukunftsbezogene Aspekte berücksichtigt und in das Konzept integriert. Spezielle Beachtung findet das Thema der Wiederverwendung von bereits vorhandenen Ressourcen sowie das Thema der Volumenflexibilität.

Es besteht generell kein Zweifel, dass auch suboptimal ausgelegte Produktionslinien nach dem Produktionsbeginn den abweichenden realen Bedürfnissen angepasst werden können. Allerdings ist solch ein Unterfangen meist eine zeitintensive und kostspielige Angelegenheit, die aus betriebswirtschaftlicher Sicht nicht zu favorisieren ist. Ziel eines zukünftigen Planungsansatzes sollte es sein, sehr früh zu einer effizienten Auslegung einer Montagelinie unter Beachtung der Wiederverwendungsthematik zu gelangen, die auch ein gewisses Maß an Flexibilität bezüglich der Ausbringungsmenge vorsieht. Dabei darf jedoch nicht vergessen werden, dass die Planungsdurchführung nach wie vor von einzelnen Personen bewältigt wird,

die bei ihren Tätigkeiten entsprechend unterstützt werden müssen. Jedoch gibt es auch auf diesem Gebiet noch einige Herausforderungen.

Die kommerziell verfügbaren Planungstools zeichnen sich momentan nicht unbedingt durch eine besonders hohe Benutzerfreundlichkeit und Transparenz aus. Dies führt einerseits zu Schwierigkeiten bei der direkten Verwendung der Tools, macht es aber auch für Dritte nicht einfach ein im digitalen Umfeld dokumentiertes Planungsergebnis schnell zu verstehen. Auf dieser Ebene müssen ebenfalls Verbesserungen herbeigeführt werden, da zudem davon auszugehen ist, dass Montageplaner lediglich dann neue Planungsansätze akzeptieren werden, wenn sie mit den vorgesehenen Softwareprogrammen zuverlässig und effizient arbeiten können und diese Tools einen objektiven sowie aus Anwendersicht subjektiven Mehrwert bieten.

Generelles Ziel dieser Arbeit ist es, das bestehende und mit der Anzahl der unterschiedlichen Fahrzeugvarianten wachsende Planungsrisiko im Bereich der Endmontageplanung zu reduzieren. Im Rahmen eines neuen Ansatzes sollen einzelne, als wichtig eingestufte Produktvarianten so früh wie möglich aus montagetechnischer Sicht transparent und nachvollziehbar beplant, verglichen sowie hinsichtlich ihrer Montageeignung bzw. -effizienz bewertet werden können, damit das Risiko in Hinblick auf womöglich erforderlich werdende zeit- und kostenintensive Änderungsschleifen sinkt. Der Aufwand hierfür soll sich in einem akzeptablen Rahmen halten.

Ferner soll der neue Ansatz, wie bereits erwähnt, auch explizit die Themen der Wiederverwendung von bestehenden Ressourcen sowie der Volumenflexibilität adressieren. Durch die Wiederverwendung von Ressourcen können Investitionskosten in benötigtes Montage- und Prüfequipment herabgesetzt und somit das Risiko von Fehlinvestitionen reduziert werden. Eine Sicherstellung von Volumenflexibilität hingegen reduziert das Risiko von nicht kurzfristig behebbaren Über- bzw. Unterkapazitäten bei gänzlich falsch prognostizierten Verkaufszahlen.

2 Grundlagen

2.1 Produktionsplanung

2.1.1 Begriffsbestimmung und Allgemeines

In der Literatur sowie in der industriellen Praxis wird der Begriff der Produktionsplanung nicht einheitlich verwendet. In Bezug auf den Produktlebenszyklus (engl.: Product Life Cycle, kurz: PLC) gibt es zwei Bereiche in denen von Produktionsplanung gesprochen wird. Wie aus Abbildung 2-1 ersichtlich, kann der Begriff der Produktionsplanung einerseits vor dem eigentlichen Produktionsbeginn (engl.: Start Of Production, kurz: SOP) bei der Planung der Produktionsstätte verwendet werden und andererseits auch nach SOP im Bereich der Planung und Steuerung des Produktionsprogramms.

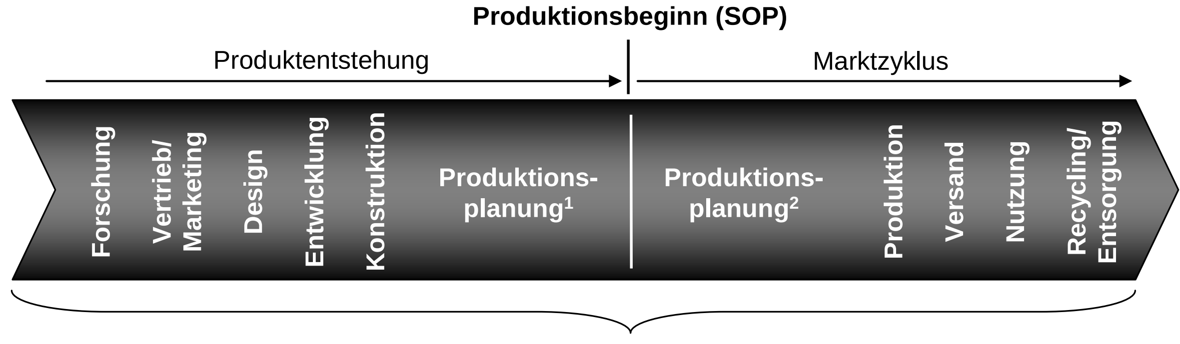


Abbildung 2-1: Produktionsplanung im PLC nach [SAKR05]

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Produktionsplanung vor SOP. Dieser Planungsabschnitt wird als Technische Produktionsplanung bezeichnet und ist in [Zenn06] wie folgt definiert:

> „*Die Technische Produktionsplanung beinhaltet alle einmalig auftretenden Planungsmaßnahmen, die das räumliche und zeitliche Zusammenwirken von Mensch und Betriebs- bzw. Arbeitsmittel unter Berücksichtigung der gestellten Anforderungen zur Herstellung von Serienerzeugnissen vorbereiten und sicherstellen.*“ [Zenn06]

Die Aufgabe der Technischen Produktionsplanung besteht in der Ermittlung und Realisierung von technisch und wirtschaftlich sinnvollen Produktionslinien unter Einhaltung konkreter Randbedingungen. Details hierzu werden in Abschnitt 2.1.2 besprochen.

Die Produktionsplanung nach SOP bekommt in Anlehnung an [Kief07] die Bezeichnung Betriebswirtschaftliche Produktionsplanung. Im Rahmen der Betriebswirtschaftlichen Produktionsplanung wird sich mit der Material- und Zeitwirtschaft sowie mit der kurz- und langfristigen Kapazitätsplanung in der Produktion beschäftigt [Temp06, Wien07, Nyhu08]. Es wird versucht eine betriebswirtschaftlich optimale Produktion in Bezug auf die vorliegenden Kundenbestellungen zu erzielen. Dies ist keine triviale Aufgabe, da heute nicht mehr das einzelne produzierende Unternehmen mit seinen internen Geschäftsprozessen im Mittelpunkt steht [Kurb05]. Die produzierenden Unternehmen befinden sich meist in komplexen Lieferanten-Abnehmer-Beziehungen. Diese Situation ist auch in der Automobilindustrie vorzufinden. Ferner hat in vielen Branchen die Fertigungstiefe bei den Endproduzenten (engl.: Original Equipment Manufacturers, kurz: OEMs) deutlich abgenommen. Im Automobilbereich überlassen viele OEMs ganze Teile der Bauteil- bzw. Baugruppenentwicklung und -fertigung sowie Teile der Betriebsmittelkonstruktion und -herstellung ihren Zulieferern. Des Weiteren gibt es verstärkt Tendenzen zu verfügbarkeits- bzw. ergebnisorientierten Betreibermodellen in Produktionsbetrieben [MeWe05, BaBM06].

Abbildung 2-2 zeigt nochmals den Produktlebenszyklus, wobei die neuen Begrifflichkeiten, die zur Vermeidung von Missverständnissen eingeführt wurden, zum Einsatz kommen.

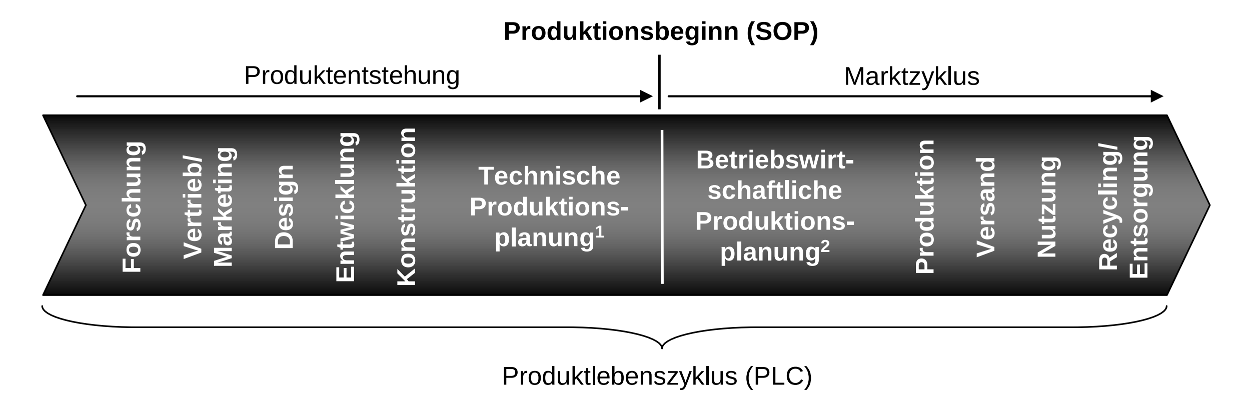


Abbildung 2-2: Technische und Betriebswirtschaftliche Produktionsplanung im PLC

2.1.2 Aufgabenfeld der Technischen Produktionsplanung

Die Aufgabe der Technischen Produktionsplanung besteht darin, die zur Herstellung von Produkten benötigten Arbeitsschritte (Prozesse) und die zugehörigen, erforderlichen Betriebs- bzw. Arbeitsmittel (Ressourcen) sowie das erforderliche Personal unter wirtschaftlich und arbeitstechnisch sinnvollen Gesichtspunkten zu definieren, so dass sich in Summe eine möglichst optimale Lösung für die reale Produktionslinie ergibt. Die Qualität des Gesamtergebnisses hängt aber nicht nur von der Güte der Durchführung der Technischen Produktionsplanung ab, sondern wird auch maßgeblich von projektspezifischen Vorgaben bestimmt [LoWi06]. Das Planungsergebnis wird je nach zur Verfügung stehendem Budget für produktionstechnische Investitionen differieren. Ferner spielen die Informationen des Vertriebs eine wichtige Rolle [Bern05a, BeCa07]. Je präziser und zutreffender die Prognosen in Bezug auf zukünftige Absatzzahlen bestimmter Produkte und deren Produktvarianten sind, desto besser wird das erarbeitete Planungsergebnis mit den realen Anforderungen nach SOP harmonieren.

Da es sich bei den Produkten aus dem Automobilbau mittlerweile verstärkt um Erzeugnisse mit mechatronischem Charakter handelt, die partiell auch von mechatronischen Produktionsanlagen produziert werden, müssen bei der Technischen Produktionsplanung verschiedene Anforderungen aus unterschiedlichen Disziplinen eine Beachtung finden. Anforderungen aus den Bereichen der Mechanik, Elektrotechnik und Informatik sind heutzutage kombiniert zu betrachten [Bern05b]. Die Technische Produktionsplanung ist somit eine hochkomplexe, interdisziplinäre Herausforderung, die von vernetzt arbeitenden Planungsexperten gemeistert werden muss. Der Mensch spielt nach wie vor sowohl auf der Planungsseite als auch bei der realen Produktion eine überaus wichtige Rolle [BRSB04, LoWi06]. Insofern ist es nicht verwunderlich, dass arbeitswissenschaftlichen Aspekten eine besondere Bedeutung bei der Technischen Produktionsplanung zukommt.

Im Automobilbau findet üblicherweise eine verteilte Technische Produktionsplanung statt. Die fünf Gewerke Presswerk, Rohbau, Oberfläche (Lackiererei), Powertrain (Antriebsstrang) und Endmontage sind voneinander über Puffer entkoppelt und können prinzipiell separat geplant werden (vgl. Abbildung 2-3).

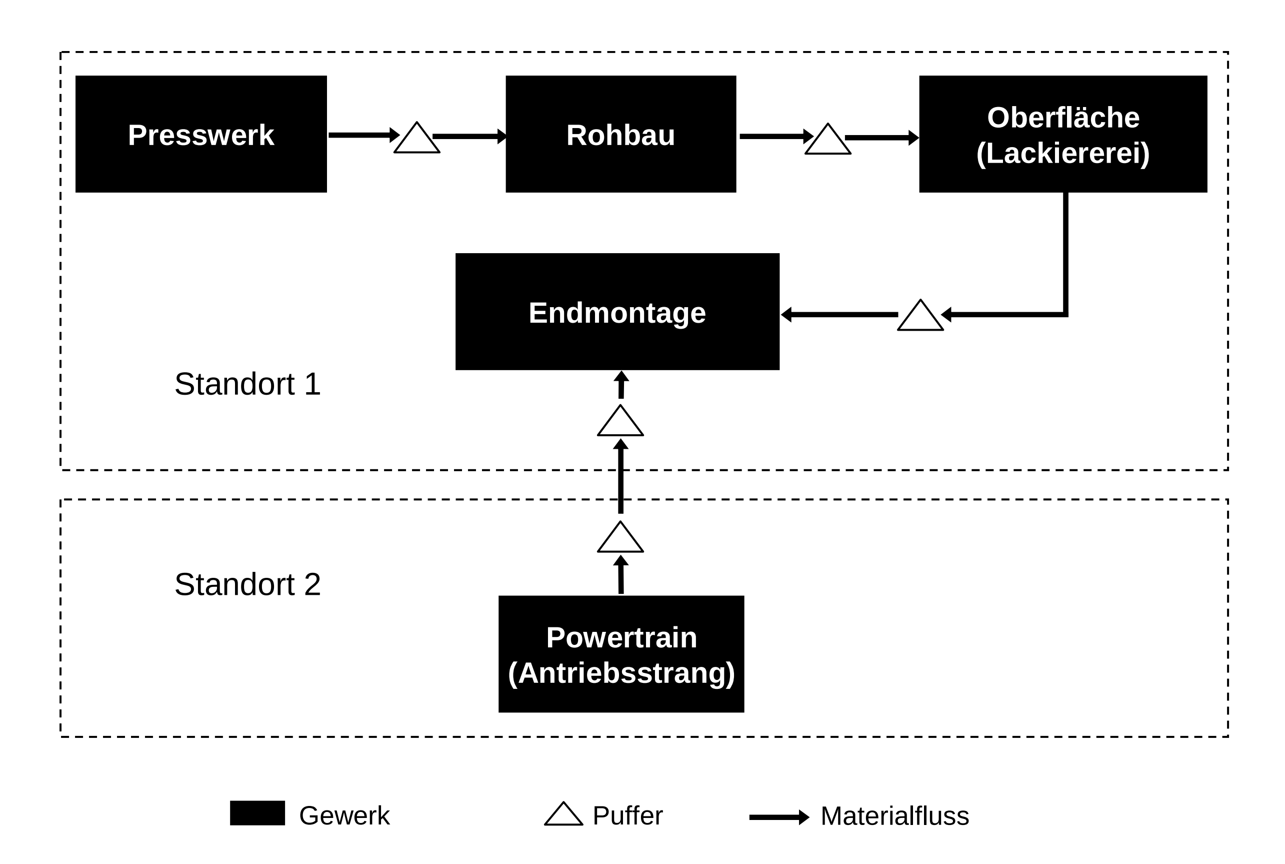


Abbildung 2-3: Die Gewerke der Automobilindustrie nach [PaLK03, Kief07, VDI4499]

Die Gewerke Presswerk, Rohbau, Lackiererei und Endmontage sind oftmals an einem Standort konzentriert, wohingegen der Powertrainbereich mit seiner Motor-/Getriebe- und Fahrwerksfertigung gewöhnlich an einem zweiten, separaten Standort untergebracht ist.

Die aus dem Presswerk kommenden Blechteile werden im Rohbau zur Karosse zusammengefügt, danach gereinigt und anschließend in der Lackiererei oberflächenbehandelt. Darauf folgend wird die zusammengefügte, lackierte Karosserie im Rahmen der Endmontage mit Innenkomponenten ausgestattet und mit der aus dem Bereich Powertrain kommenden, vormontierten Motor-/Getriebe- und Fahrwerkseinheit vereinigt. Nach der Ergänzung von weiteren erforderlichen Anbauteilen werden üblicherweise die Betriebsstoffe aufgefüllt, und es erfolgt eine Endkontrolle der produzierten Fahrzeuge.

Der Fokus dieser Arbeit liegt eindeutig auf der Technischen Produktionsplanung von Endmontagelinien in der Automobilindustrie, die im Folgenden der Einfachheit halber Endmontageplanung genannt wird.

2.2 Endmontageplanung

2.2.1 Begriffsbestimmung und Allgemeines

Wie bereits in Abschnitt 2.1.2 erwähnt, wird in dieser Arbeit unter Endmontageplanung die Technische Produktionsplanung von Endmontagelinien in der Automobilindustrie verstanden. Während der Automatisierungsgrad bei Serienfahrzeugen in den Bereichen Presswerk, Rohbau und Lackiererei üblicherweise sehr hoch ist, ist er im Bereich der Endmontage verhältnismäßig gering [Ever97]. Bis dato überwiegen auch bei Fahrzeugbaureihen mit sehr hoher Jahresproduktion eindeutig die manuellen Tätigkeiten in der Endmontage. Nach [HoPi04] liegt der Automatisierungsgrad üblicherweise bei unter 5%. Lediglich in einigen Stationen – z. B. beim Scheibenkleben oder beim Vereinen von Karosse und vormontierter Motor-/Getriebe- und Fahrwerkseinheit – kommen mitunter vollautomatische Lösungen zum Einsatz. Ansonsten ist geschultes Personal für den korrekten, sauberen Zusammenbau der Fahrzeuge verantwortlich. Die Werker werden an erforderlichen Stellen durch entsprechende Montageressourcen unterstützt.

Es gibt aber auch Bestrebungen, den Automatisierungsgrad in der Endmontage zu erhöhen. Ein praxisnahes Beispiel für eine innovative Automatisierung ist in [ReWe07] gezeigt. In dieser Publikation wird verdeutlicht, dass die Radmontage von einem Roboter ohne Taktzeiteinbußen im Fließprozess durchgeführt werden kann. Des Weiteren gibt es Publikationen, die sich intensiv mit der Thematik der Mensch-Roboter-Interaktion [ScFr07, KrSu08, KrLV09] bzw. der temporären, bedarfsgerechten Mensch-Roboter-Substitution [CoSW07] auseinandersetzen. Trotz dieser Entwicklungen darf aber weiterhin davon ausgegangen werden, dass auch zukünftig die Anzahl der manuellen Tätigkeiten in der Endmontage überwiegen wird.

Aufgrund der hohen Anzahl der manuellen Tätigkeiten und des vielfältigen Montagespektrums in der Endmontage ist die Technische Produktionsplanung in diesem Bereich nicht unmittelbar vergleichbar mit den Planungsaktivitäten aus anderen Bereichen, wie z. B. dem Rohbau. Abbildung 2-4 gibt einen Überblick über typische Fügeverfahren, die im Bereich der Fahrzeugendmontage eine Anwendung finden.

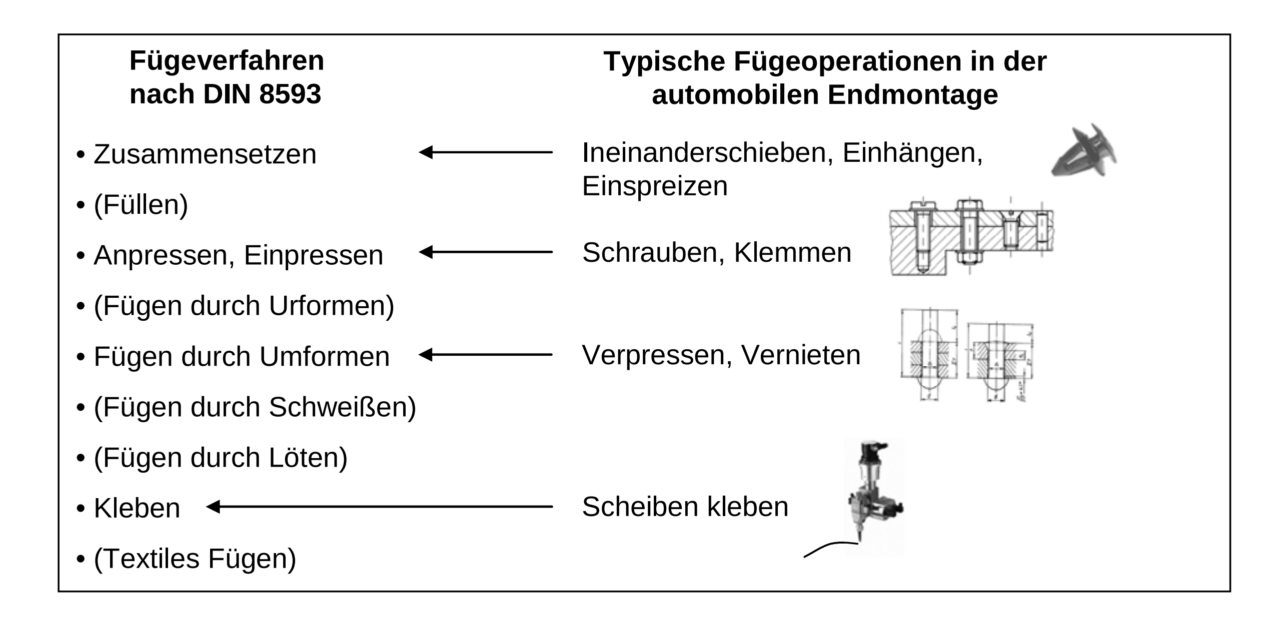


Abbildung 2-4: Wichtige Fügeverfahren der Endmontage nach [DIN8593]

Nach [Löhr77] gibt es neben den Fügeverfahren aus DIN 8593 aber noch vier weitere Montagefunktionen, die es bei einem Montagesystem zu beachten gilt: Handhaben, Justieren, Prüfen sowie die Berücksichtigung von weiteren Sonderfunktionen. Abbildung 2-5 gibt genaueren Aufschluss über die vier zusätzlichen Funktionen.

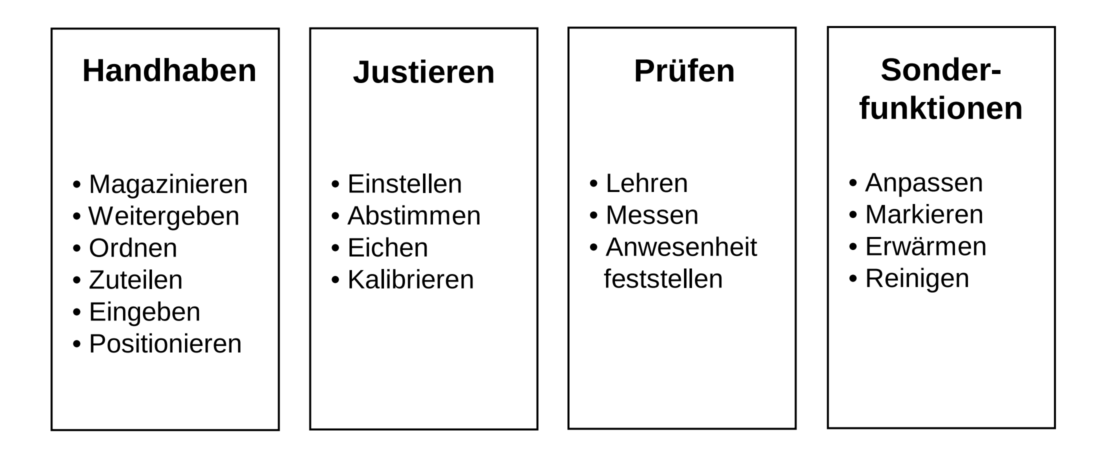


Abbildung 2-5: Die vier zusätzlichen Montagefunktionen nach [Löhr77]

Üblicherweise wird die Planung der Endmontagelinien von den Automobilherstellern in Eigenregie durchgeführt. Zulieferer werden eher selten mit der Grob- oder Detailplanung von Montageabschnitten beauftragt. Die OEMs sind zum Teil der Überzeugung, dass sich im Bereich der Endmontage wichtige Wettbewerbsvorteile realisieren lassen. Aus diesem Grund wird oftmals von einer direkten Involvierung Dritter in den Planungsprozess abgesehen. [WeBl08a]

2.2.2 Aufgabenfeld der Endmontageplanung

Generell besteht die Aufgabe der Endmontageplanung darin, effiziente und wirtschaftliche Montagelinien für Fahrzeuge zu entwerfen und umzusetzen. Bei der Planung sind Vorgaben vom Vertrieb, von der Entwicklung als auch von der Finanz-, Logistik- und Personalplanung einzuhalten [WBHZ01]. Im Vorfeld ist üblicherweise bereits definiert, welch ein Herstellvolumen an Fahrzeugen die Linie abdecken muss und welch ein Budget, gegliedert nach unterschiedlichen Kategorien, wie z. B. für Equipment und Personal, zur Verfügung steht [Zenn06]. An dieser Stelle sei angemerkt, dass das Budget für Equipment aufgrund des niedrigen Automatisierungsgrades verhältnismäßig gering ist [Rosc07].

In Summe sind von den Endmontageplanern viele projektspezifische Restriktionen einzuhalten. Definierte bzw. bestehende Platzverhältnisse dürfen z. B. nicht ohne weiteres überschritten werden. Immer häufiger gibt es auch konkrete Vorgaben bezüglich vorhandenen Equipments, welches wieder zu verwenden ist (vgl. mit Abschnitt 2.5.2). Ferner ist im Allgemeinen die Auswahlmöglichkeit an neuen Betriebs- und Arbeitsmitteln, die in Betracht gezogen werden dürfen, limitiert. Equipment darf üblicherweise nur von solchen Zulieferern geordert werden, die dem Unternehmen im positiven Sinne bekannt sind und mit denen bereits ein Rahmenvertrag besteht.

Zwar findet die Endmontageplanung unter klar definierten Randbedingungen statt, es wäre allerdings ein Trugschluss anzunehmen, dass es sich bei dieser Tätigkeit um eine triviale, leicht durchzuführende Aufgabe handelt. Die Vielzahl an einzuhaltenden Restriktionen, die Vielzahl an in Wechselwirkung stehenden Faktoren sowie die sich teilweise ändernden Daten und Randbedingungen und deren Ungenauigkeit machen die Endmontageplanung zu einer Herausforderung.

Zudem darf nicht vergessen werden, dass die Endmontageplanung ein zeitintensiver Prozess ist, der zuerst mit einer Grobplanung beginnt und erst allmählich in eine Detailplanung übergeht. Abbildung 2-6 zeigt den Übergang von der Grob- zur Detailplanung und verdeutlicht, dass es zu zeitintensiven Iterationsschleifen kommen kann. Es sei noch erwähnt, dass die Grenzen zwischen Grob- und Detailplanung oftmals nicht eindeutig, sondern schleichend sind.

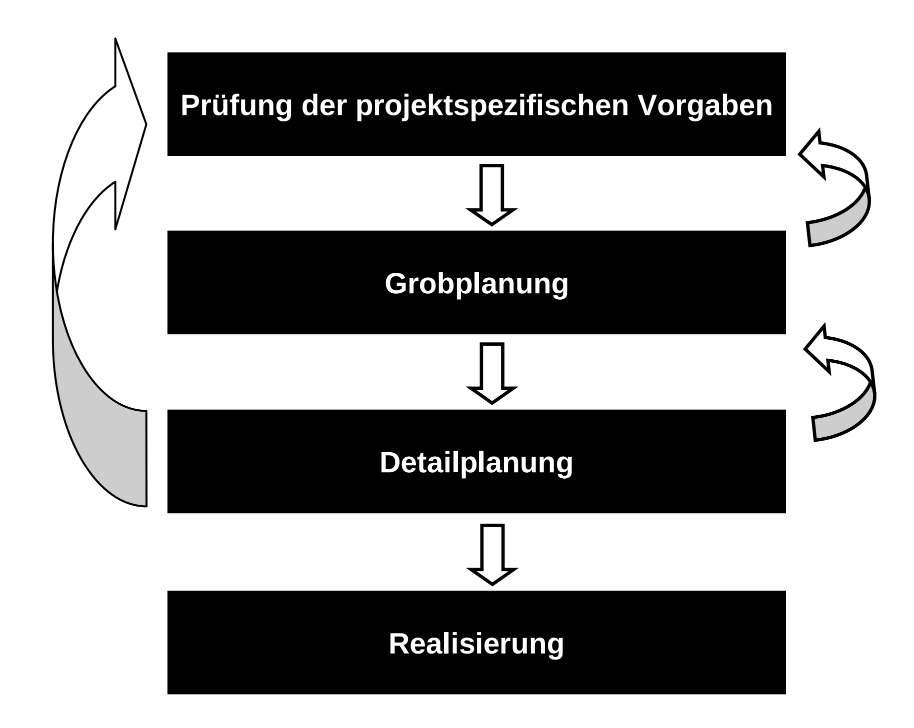


Abbildung 2-6: Genereller Ablauf der Endmontageplanung nach [Schi91, Ross02]

Im Rahmen der Grobplanung müssen viele planerische Tätigkeiten absolviert werden. In einem ersten Schritt wird üblicherweise die Produktstruktur analysiert und eine Prozessstruktur erarbeitet. Die Produktstruktur ist im Automobilbereich in entsprechende Module untergliedert, was das Ableiten der Prozessstruktur vereinfacht. Oftmals können sich die ausführenden Personen auch diesbezüglich an vorherigen Fahrzeugprojekten orientieren. Ferner kann in Zusammenhang mit der Produktstrukturanalyse auch theoretisch ein so genannter Vorranggraph erstellt werden. Nach [Bull86] handelt es sich beim Vorranggraphen um eine netzplanähnliche Darstellung von Teilaufgaben der Montage, wobei die Teilaufgaben als Knoten und die Abhängigkeitsbeziehungen als Verbindungslinien (Kanten) zwischen den Knoten dargestellt sind. Teilaufgaben werden systematisch zum Zeitpunkt der frühesten Ausführbarkeit eingetragen, während das Ende der von einem Knoten ausgehenden Kante den Zeitpunkt verdeutlicht, zu dem die Teilverrichtung spätestens ausgeführt sein muss. Somit ergibt sich ein Graph, der Vorrangbeziehungen widerspiegelt und aus dem mögliche Montagereihenfolgen abgeleitet werden können.

Eine wichtige Aufgabe der Grobplanung ist die Bestimmung aller erforderlichen Montageprozesse inklusive der Vergabe von Montagezeiten für die auszuführenden Tätigkeiten. Die definierten und mit Attributen versehenen Montageprozesse werden bei einer anschließenden Austaktung in Stationen gebündelt. Einige Automobilhersteller berücksichtigen an dieser

Stelle auch bereits logistische Anforderungen in Bezug auf Ladungsträger, die in den Materialzonen der Linien bereitzustellen sind [VoKH06, BrRA08]. Betriebs- bzw. Arbeitsmittel werden in frühen Phasen hingegen oftmals lediglich grob klassifiziert. Erst nachdem durch die Austaktung die Montagereihenfolge und die überschlägige Anzahl an benötigtem Personal für die Linie festgelegt sind, kann eine detaillierte Planung der Betriebs- bzw. Arbeitsmittel erfolgen.

Im Rahmen der Detailplanung wird oft zum ersten Mal eine größere Anzahl an einzelnen, technisch sinnvollen Fahrzeugvarianten berücksichtigt. Dies ist im Speziellen im Bereich der so genannten digitalen Absicherungen der Fall. Im Rahmen der digitalen Absicherungen wird die Prozess- und Ressourcewahl überprüft und gegebenenfalls modifiziert. Zugänglichkeits- und Ergonomieuntersuchungen werden mitunter von unterschiedlichen Abteilungen durchgeführt. Die digitalen Absicherungen spielen heutzutage eine überaus wichtige Rolle [WBKM08]. Sie ersetzen teilweise die realen Prototypen und leisten somit einen Beitrag zur Zeit- und Kostenreduktion.

Eine weitere wichtige Aufgabe der Detailplanung ist die Layoutplanung, die üblicherweise auch an Materialflusssimulationen gekoppelt ist [BrRA08]. Die Layoutplanung beschäftigt sich mit der Ermittlung, Bewertung und Auswahl alternativer räumlicher Anordnungsmöglichkeiten von Betriebs- bzw. Arbeitsmitteln inklusive Bereitstellungs-, Transport- und Lagerflächen in den Produktionshallen [Frit07, Tied07, GlFe08]. Wie bereits erwähnt, werden im Rahmen der fortschreitenden Layoutplanung auch oftmals kombiniert Materialflusssimulationen durchgeführt. Eine Materialflusssimulation bezieht sich grundsätzlich auf die Nachbildung kapazitiver und zeitlicher Zusammenhänge und berücksichtigt ferner externe Einflussfaktoren, wie z. B. Kapazitätsausfall oder Absatzschwankungen, als stochastische Größen [Schu06, Zülc08]. Im Grunde wäre es zweckmäßig, Materialflusssimulationen nicht nur separat für die jeweiligen Gewerke, sondern übergreifend für alle in direkter Beziehung stehenden Produktionsbereiche durchzuführen. Allerdings ergibt sich dann das Problem eines überaus großen, komplexen Simulationsmodells [BrOs00].

In Bezug auf vollautomatische Endmontagestationen sei noch angemerkt, dass in diesem Bereich im Rahmen der Detailplanung auch eine so genannte Virtuelle Inbetriebnahme erfolgen kann. Nach [Kief07] ist unter dem Begriff der Virtuellen Inbetriebnahme folgendes zu verstehen:

> *„Die Virtuelle Inbetriebnahme bezeichnet die im Rahmen der Produktionsplanung stattfindende digitale Absicherung realer Steuerungsprogramme und anderer produktionsnaher IT-Systeme ohne Vorhandensein der realen Fertigungssysteme. Sie dient der frühzeitigen Beurteilung und Optimierung des gesamten Anlagenverhaltens unter Verwendung digitaler Produkt- und Ressource- sowie realer Prozessdaten (Steuerungsdaten).“* [Kief07]

Bei der Virtuellen Inbetriebnahme handelt es sich folglich um eine ganzheitliche, maschinennahe Simulation, die die Datenmodelle aus den unterschiedlichen mechatronischen Disziplinen vereint [Schl05, Schl08]. Das der Simulation zugrunde liegende Modell beinhaltet nicht nur geometrische, kinematisierte 3D-Komponenten, sondern berücksichtigt auch elektro- und steuerungstechnische Aspekte [Kief07]. Die Simulationsumgebung verknüpft üblicherweise reale Steuerungshardware mit echtzeitfähiger Simulation und Visualisierung von Produktionslinien bzw. -zellen [ZäMW04]. Basierend auf dem Simulationsmodell erfolgt sozusagen eine Vorwegnahme der Steuerungsinbetriebnahme mit dem Ziel Fehler in der Steuerungssoftware frühzeitig zu erkennen und zu eliminieren, so dass die reale Inbetriebnahme ohne Probleme vonstatten geht [Wüns07]. Auf diese Art lassen sich Zeit- und Kosteneinsparungen im Bereich des realen Produktionsanlaufs realisieren [ReWü07]. Es ist abzusehen, dass die Virtuelle Inbetriebnahme in Zukunft eine wichtige Rolle im Automobilbau spielen wird.

Der Fokus dieser Arbeit richtet sich eindeutig auf die frühen Phasen der Endmontageplanung. In diesem Planungsabschnitt werden bereits die Weichen für die Auslegung einer effizienten Endmontagelinie gestellt. Endmontagelinien der Automobilindustrie sind im klassischen Fall nach dem Fischgräten-Muster aufgebaut. Klassische Montagelinien bestehen aus einer Hauptlinie und mehreren Seitenlinien, in denen z. B. Baugruppen bzw. Unterbaugruppen vormontiert werden. Abbildung 2-7 zeigt den schematischen Aufbau einer klassischen Montagelinie. Natürlich gibt es aber noch weitere, teils komplexere Arten bzw. Formen von Endmontagelinien [Leop97].

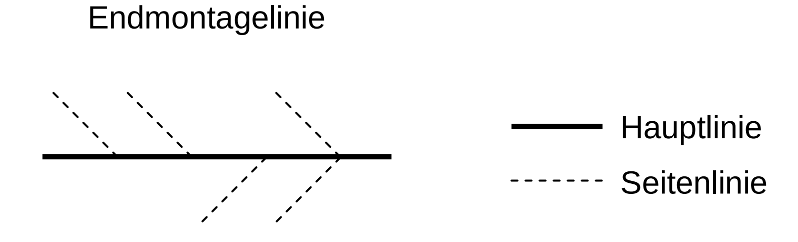


Abbildung 2-7: Klassischer Linienaufbau nach [Wemh05]

Bei den heutigen Endmontagelinien ist generell zwischen Solitärlinien (Produktion einer Fahrzeugbaureihe) und produktflexiblen Montagelinien (Produktion mehrerer Baureihen) zu unterscheiden. Eine produktflexible Montagelinie kann u. U. selbst bei starken Nachfrageschwankungen annähernd konstant ausgelastet werden. Dies ist dann möglich, wenn sich die veränderte Nachfragesituation für einzelne Produkte im so genannten Produkt-Mix ausgleicht. Voraussetzung für die Schaffung einer produktflexiblen Montagelinie ist aber, dass sich die zu montierenden Fahrzeuge hinsichtlich der Produktstruktur ähneln. Unterscheiden sich die Fahrzeuge zu stark, so sinkt durch die hohe Varianz der Montageprozesse die Arbeitskrafteffizienz des Personals in der Linie. Ferner ist bezüglich der produktflexiblen Montagelinien zu berücksichtigen, dass diese üblicherweise ein deutlich höheres Investitionsvolumen als Solitärlinien bedingen. Eine Solitärlinie ist prinzipiell auf die effiziente Produktion nur eines komplexen Produktes ausgerichtet. Solitärlinien sind bei gleichbleibend guter Nachfrage im Regelfall wirtschaftlicher als produktflexible Montagelinien. Bei eintretenden Nachfrageschwankungen sinkt jedoch ihre Effizienz. Während in der Vergangenheit überwiegend Solitärlinien favorisiert wurden, zeichnet sich nun eher ein Trend zu produktflexiblen Montagelinien ab. Generell treten die unterschiedlichen Linienkonzepte aber nur noch selten in absoluter Reinform auf. [Rosc07]

Die Endmontagelinien im Automobilbau sind generell stets sehr ähnlich strukturiert. Sie untergliedern sich normalerweise in die drei Bereiche Inneneinbau, Montage der Motor-/ Getriebe- und Fahrwerkseinheit sowie Endkontrolle und Fertigstellung zum Versand. Die drei verschiedenen Bereiche sind in Abbildung 2-8 dargestellt. Die in den drei Bereichen durchzuführenden Aktivitäten sind bei einer groben Betrachtung von unterschiedlichen Montagelinien stets ähnlich, allerdings unterscheidet sich von Linie zu Linie oftmals die Abfolge der Schritte. Ferner gibt es üblicherweise gravierende Unterschiede im Detail. Fahrzeuge unterschiedlicher Hersteller sowie Fahrzeuge aus unterschiedlichen Segmenten sind meist unterschiedlich konstruiert und folglich werden andere Montagereihenfolgen und Montageprozesse benötigt. Selbst bei Nachfolgebaureihen kann es zu deutlichen Änderungen bezüglich der Montagereihenfolge und bezüglich der Montageprozesse kommen. Nichtsdestotrotz ist es bei Nachfolgeprodukten jedoch sinnvoll, die Planungs- und Produktionsdaten des zu ersetzenden Produktes als Anhaltspunkt für das neue Fahrzeugprojekt zu berücksichtigen.

Alle Bereiche einer Endmontagelinie sind starr verkettet. Allerdings unterscheiden sich in den Bereichen Inneneinbau, Montage der Motor-/Getriebe- und Fahrwerkseinheit sowie End-

kontrolle und Fertigstellung zum Versand die Fördertechnik und die Anforderung an die Produktzugänglichkeit [Rosc07].

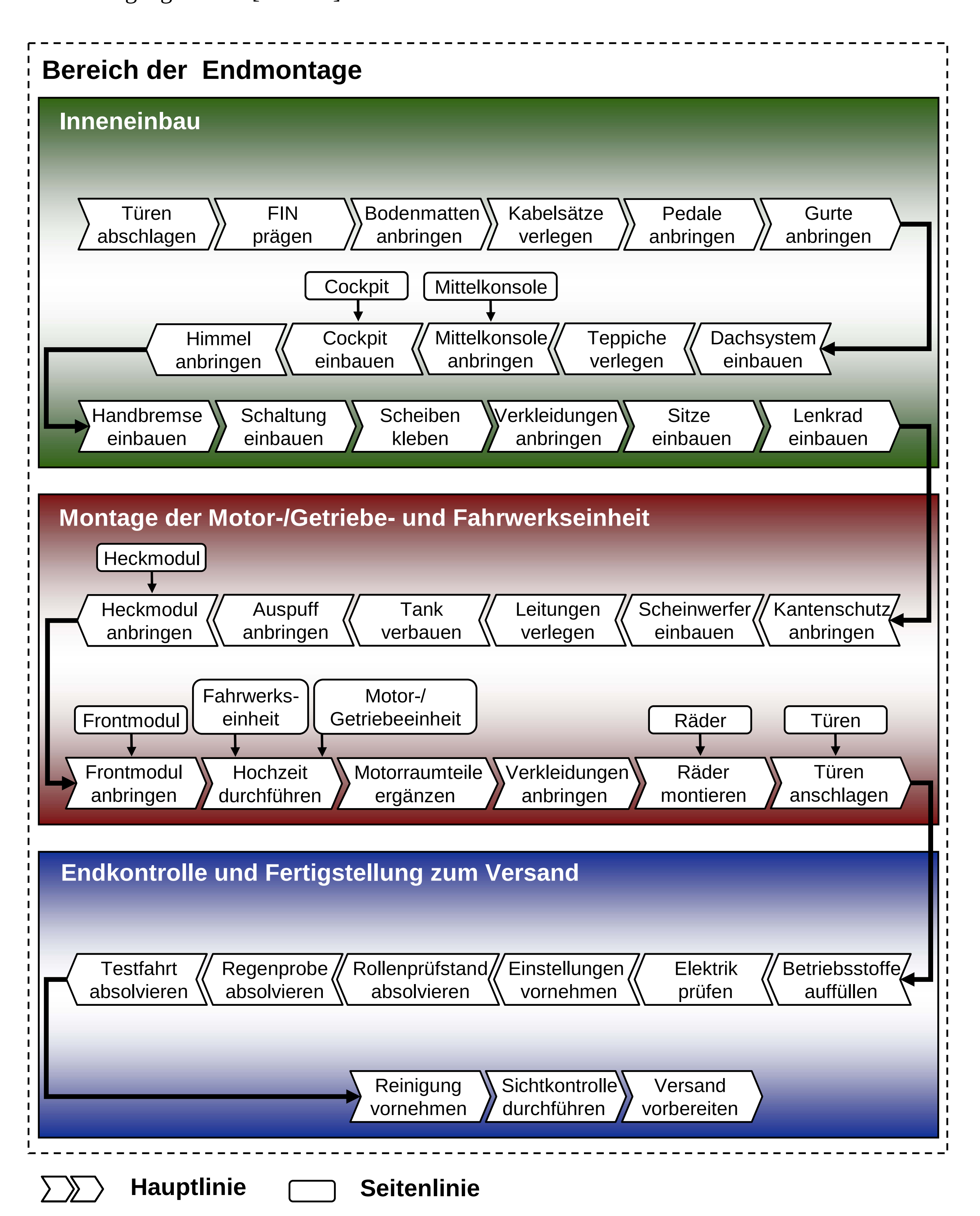


Abbildung 2-8: Aufbau von Fahrzeugmontagelinien nach [Krat00, Rosc07]

Die Planung einer neuen Endmontagelinie läuft normalerweise sehr strukturiert ab. Zu Beginn der Planung wird oftmals ein Projektplan erstellt, aus dem hervorgeht, welche Abteilungen in welcher Art und Weise in das Projekt involviert sind und welche Fälligkeitstermine einzuhalten sind. Allerdings hat jeder Automobilhersteller und meist auch jede Abteilung eine eigene Herangehensweise an die Thematik. Des Weiteren wird häufig unterschiedliche Planungssoftware eingesetzt. [WBKM08]

In Kapitel 3 werden die Planungsaktivitäten, die in den frühen Phasen der Endmontageplanung stattfinden, noch näher erörtert.

2.3 Digitale Fabrik

2.3.1 Begriffsbestimmung und Allgemeines

In der VDI-Richtlinie 4499 ist der Begriff der Digitalen Fabrik wie folgt definiert:

> *„Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u. a. der Simulation und der dreidimensionalen Visualisierung –, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden.“* [VDI4499]

Das Ziel der Digitalen Fabrik wird hingegen folgendermaßen beschrieben:

> *„Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt.“* [VDI4499]

In Summe gibt es eine Vielzahl an unterschiedlichen Definitionen und Auffassungen zur Digitalen Fabrik [ZäPF03]. In Bezug auf den Nutzen der Digitalen Fabrik besteht jedoch meist Einigkeit unter den Autoren. Prinzipiell wird in der Digitalen Fabrik ein realitätsnahes Abbild der wirklichen bzw. in Planung befindlichen Fabrik gesehen [Schr03, GeRe04, Marc04]. Im digitalen Umfeld kann experimentiert und optimiert werden, ohne dass Investitionen in reale Produktionsmittel sowie reale Versuche erforderlich sind [Blum06, Boss07]. Eine laufende Produktion wird folglich auch nicht negativ durch diese „Experimente“ beeinflusst. Eine Übertragung der Ergebnisse aus dem digitalen Umfeld in die Realität findet erst dann statt, wenn ein Optimum erreicht und bestimmte Richtwerte erzielt wurden. Ein

wichtiger Bestandteil der Digitalen Fabrik ist die Simulation. In der VDI-Richtlinie 3633 ist der Begriff der Simulation wie folgt definiert:

> Die Simulation ist das „*Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.*“ [VDI3633]

Die Simulation wird im Rahmen der Digitalen Fabrik sehr vielfältig eingesetzt. Exemplarische Möglichkeiten zur Nutzung der Simulation sind in Abbildung 2-9 aufgezeigt.

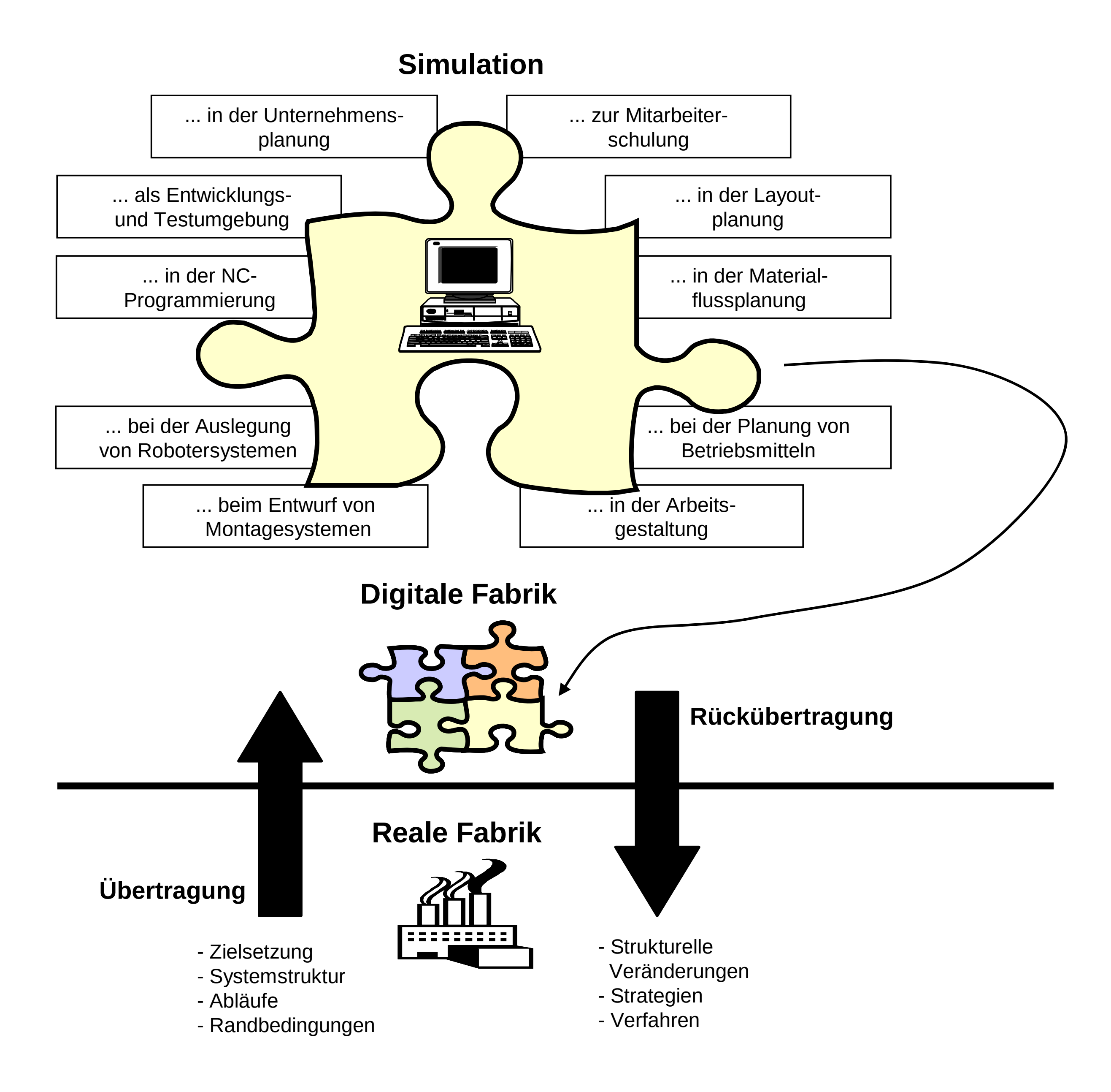


Abbildung 2-9: Simulation im Rahmen der Digitalen Fabrik nach [Bley05]

Die Rechnerunterstützung in der Produktentwicklung, der Technischen Produktionsplanung sowie der Produktion ist in den letzten Jahren wesentlich vorangeschritten [Frit07]. Im Speziellen die Automobil- und Flugzeugindustrie waren und sind auf diesem Gebiet Vorreiter [VDI4499].

Die Produktentwicklung wird in den genannten Branchen mit Hilfe von 3D CAD-Systemen („Computer Aided Design“-Systemen) durchgeführt. Des Weiteren sind eine Vielzahl an CAE-Systemen („Computer Aided Engineering“-Systemen) verfügbar, die u. a. den Konstrukteur bei der Suche nach der optimalen Bauteilgestaltung unterstützen. Die generierten Produktdaten werden in EDM-/PDM-Systemen („Engineering Data Management“- bzw. „Product Data Management“-Systemen) verwaltet. Insgesamt ist die IT-Unterstützung im Bereich der Produktentwicklung in der Automobil- und Flugzeugindustrie als vorbildlich hoch einzustufen. Im Bereich der Produktion verhält es sich ähnlich. Es kommen ERP-/PPS-Systeme („Enterprise Resource Planning“- bzw. „Produktionsplanungs- und Steuerungs“-Systeme) zum Einsatz.

Im Gegensatz zu der guten IT-Unterstützung in den Bereichen der Produktentwicklung und Produktion sieht die Situation im Bereich der Technischen Produktionsplanung weniger gut aus [AvBW07]. Die von [Fran03] beschriebene Unausgewogenheit im Produktentstehungsprozess existiert weiterhin (siehe Abbildung 2-10).

Das Hauptproblem im Bereich der Technischen Produktionsplanung besteht darin, dass in dieser Phase oftmals eine Vielzahl an isolierten Softwarewerkzeugen zum Einsatz kommt. Dieser Umstand bringt eine Reihe von Folgeproblemen mit sich [LuBM07]. Beispielsweise ist der Datenaustausch zwischen den Softwaresystemen bzw. -tools immer noch ein überaus brisantes Thema [Avgo07]. Verlustfreie Austauschformate sind zum Teil nicht verfügbar. Selbst der Datenaustausch zwischen prinzipiell gleichen Softwaretools kann zu einem Problem werden, wenn der Versions- bzw. Releasestand von Quell- und Zielsystem nicht übereinstimmen. Aus diesem Grund gibt es bei Planungskooperationen mit Zulieferern oftmals genaue Vorgaben bzgl. der zu verwendenden Softwarewerkzeuge. Für die Zulieferer bedeutet dies, dass sie exakt die gleichen Softwarewerkzeuge in ähnlicher Konfiguration wie die OEMs installieren müssen, um eine problemlose Datenübergabe bzw. -zusammenführung sicherstellen zu können [VWBZ09]. Dies kann für einen Zulieferer mit vielen unterschiedlichen Kunden ein kostenintensives Unterfangen darstellen.

Ferner ist zu beachten, dass die Automobilhersteller oftmals keine Standardsoftware einsetzen [WBKM08]. Zum Teil sind stark modifizierte Softwarewerkzeuge im Einsatz, die mit der eigentlichen frei erhältlichen Software kaum noch vergleichbar sind. Temporär kann sich ein Automobilhersteller sicherlich Vorteile durch individuelle Software bzw. Systemanpassungen schaffen, auf lange Sicht gesehen kann dies aber auch zu Problemen führen. Zuweilen kann es passieren, dass Automobilhersteller nicht ohne weiteres auf neue, partiell bessere Software umsteigen können, da ihre individuellen Modifikationen nicht bzw. zumindest anfänglich nicht auf die neue Software übertragbar sind. Folglich ist der Automobilhersteller vorerst gewissermaßen an eine „alte“ Software gebunden, die von Seiten des Softwareanbieters nicht mehr mit Nachdruck weiterentwickelt wird. In solch einem Fall hat sich der Automobilhersteller die Möglichkeit eines schnellen und einfachen Softwarewechsels selbst erschwert und kann die Vorteile einer neuen Software nicht unmittelbar nutzen.

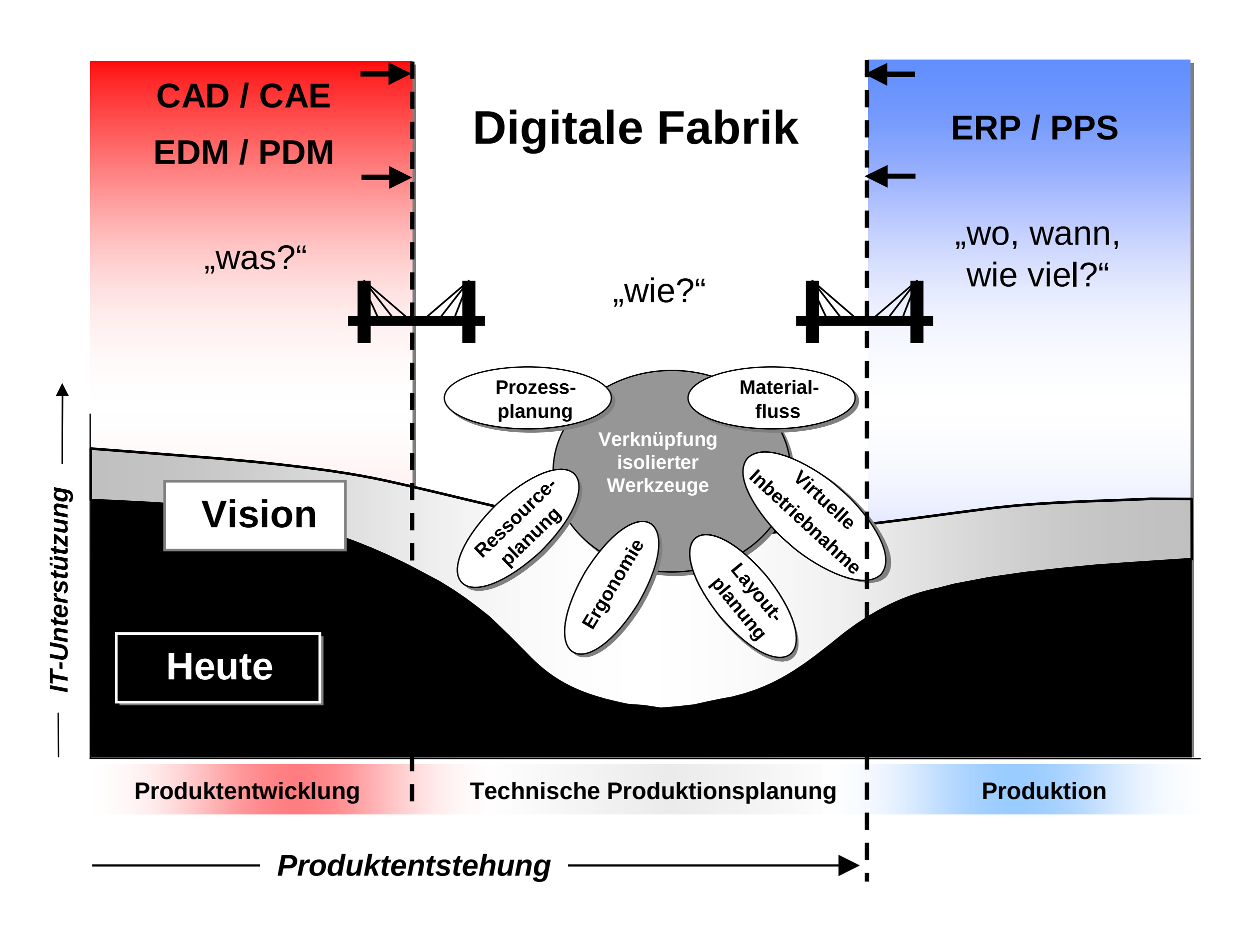


Abbildung 2-10: Unausgewogene IT-Unterstützung nach [VWBZ09]

Die Möglichkeiten, die die isolierten Softwareanwendungen aus dem Bereich der Technischen Produktionsplanung bieten, sind zum Teil beachtlich. Allerdings ist es in der Praxis oftmals so, dass diese Möglichkeiten nicht in vollem Umfang genutzt werden. Speziell

in den frühen Planungsphasen werden erste Planungsaktivitäten teilweise immer noch manuell mittels Stift und Papier oder MS Office Werkzeugen durchgeführt, obwohl zum Teil digitale Planungssoftware verfügbar ist. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Mitunter zeichnen sich die derzeit erhältlichen Planungstools nicht immer durch eine hohe Benutzerfreundlichkeit und ein gutes Aufwand-Nutzen-Verhältnis aus.

Wie bereits aus der Definition nach [VDI4499] ersichtlich, handelt es sich bei der Digitalen Fabrik allerdings keineswegs um ein reines Softwarethema. Vielmehr ist die erfolgreiche Realisierung der Digitalen Fabrik maßgeblich an die Entwicklung und Einführung von sinnvollen Planungsmethoden und -abläufen gekoppelt [BlFZ06]. In [ReKo02] wird sogar die Einschätzung vertreten, dass im Planungsbereich lediglich ca. 20% des Fortschritts durch neue Softwarelösungen, jedoch ca. 80% durch veränderte Arbeitsabläufe und Denkweisen der Mitarbeiter erreicht wird. Folglich steht der Mensch auch bei der Einführung und Realisierung der Digitalen Fabrik im Mittelpunkt [WaBl03, ZäMV05].

2.3.2 Aufgabenfeld der Digitalen Fabrik

Die Aufgabe der Digitalen Fabrik besteht darin, die derzeit existierenden, isolierten Planungswerkzeuge im Bereich der Technischen Produktionsplanung durch die Einführung von sinnvollen Planungsmethoden und -abläufen sowie durch die Realisierung eines durchgängigen Datenmanagements effizient zu verknüpfen. Ihr Ziel ist somit die Optimierung der Technischen Produktionsplanung. Darüber hinaus kommt ihr – wie in Abbildung 2-10 gezeigt – eine gewisse „Brückenfunktion“ zu. Die Digitale Fabrik ist das Bindeglied zwischen Produktentwicklung und Produktion. Sie soll das Zusammenspiel der drei Bereiche optimal gestalten.

Die Automobil- und Flugzeugindustrie verspricht sich von der Digitalen Fabrik eine positive Beeinflussung des „magischen Dreiecks“ bestehend aus Kosten, Zeit und Qualität. Durch digitale Absicherungen kann z. B. die Anzahl an teuren realen Prototypen reduziert werden [Müll07]. Durch die effiziente Verzahnung von Produktentwicklung und Technischer Produktionsplanung mittels der Digitalen Fabrik sowie der Parallelisierung der Bereichsaktivitäten lassen sich deutliche Zeitvorteile im Produktentstehungsprozess realisieren. Zwar wächst durch die parallele, simultane Herangehensweise der Aufwand in den frühen Projektphasen [Beer08], im Gegensatz zu dem früheren sequentiellen Ansatz lassen sich aber deut-

liche Zeit- und über den Gesamtprozess betrachtet auch Aufwandsvorteile realisieren [Zenn06]. Ferner lässt sich der Produktionsstart harmonischer und ohne hektischen Aktionismus bewerkstelligen [HaWa06, Beer08]. Dies ist auch aus Abbildung 2-11 ersichtlich.

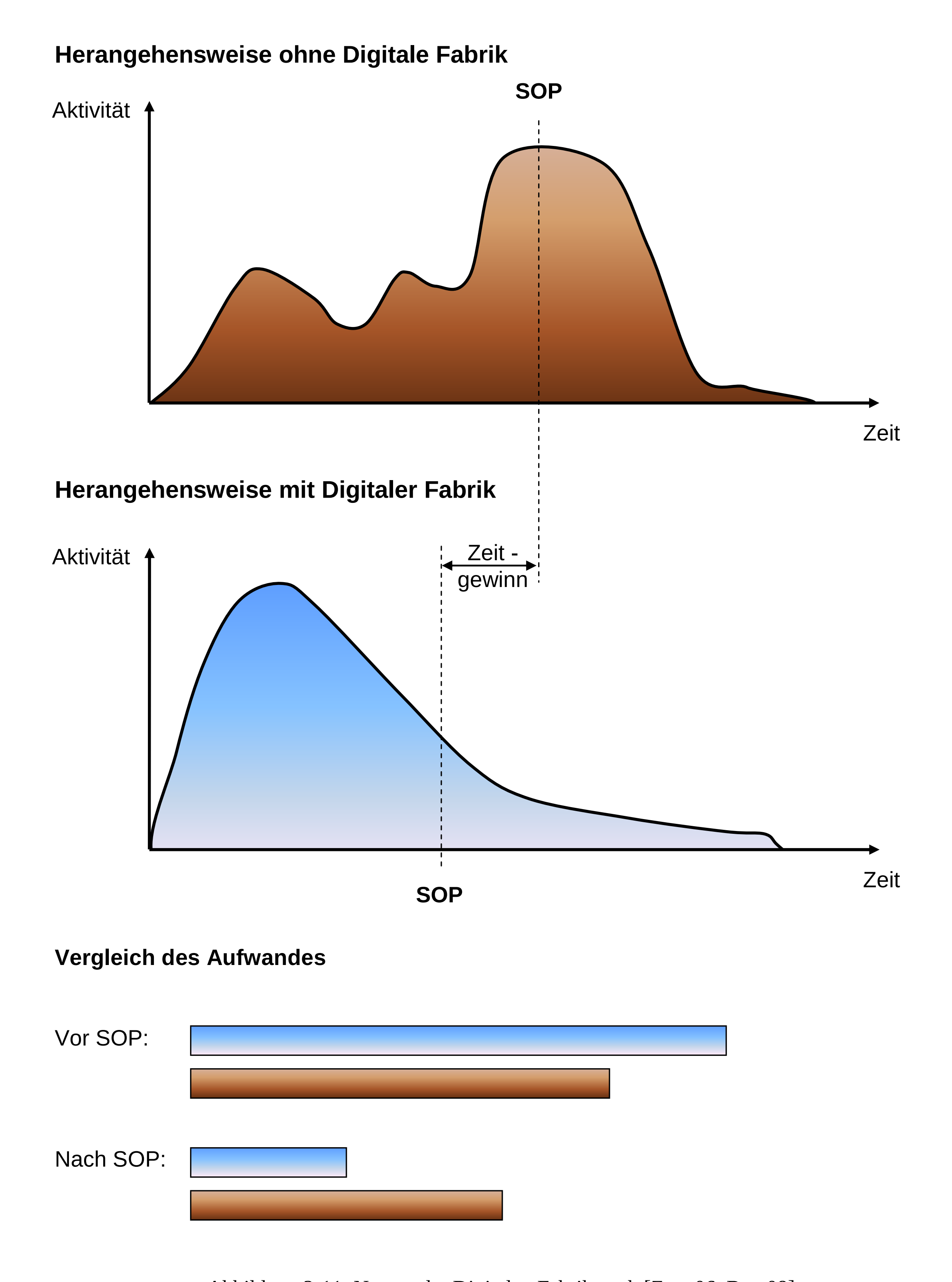


Abbildung 2-11: Nutzen der Digitalen Fabrik nach [Zenn06, Beer08]

Die Zeitersparnis durch die Verzahnung von Produktentwicklung und Technischer Produktionsplanung mittels der Digitalen Fabrik sowie durch die Parallelisierung der Bereichsaktivitäten ist mit ein Grund, warum die Produktionszyklen einzelner Fahrzeugmodelle immer kürzer werden bzw. immer kürzer werden können. Wie aus Abbildung 2-12 ersichtlich, betrug die durchschnittliche Produktionszeit eines europäischen Fahrzeugmodells bis zur Einstellung oder Ablösung durch ein Nachfolgemodell im Jahre 2004 beinahe nur noch sechs Jahre. Im Jahre 1990 waren es hingegen noch durchschnittlich neun Jahre.

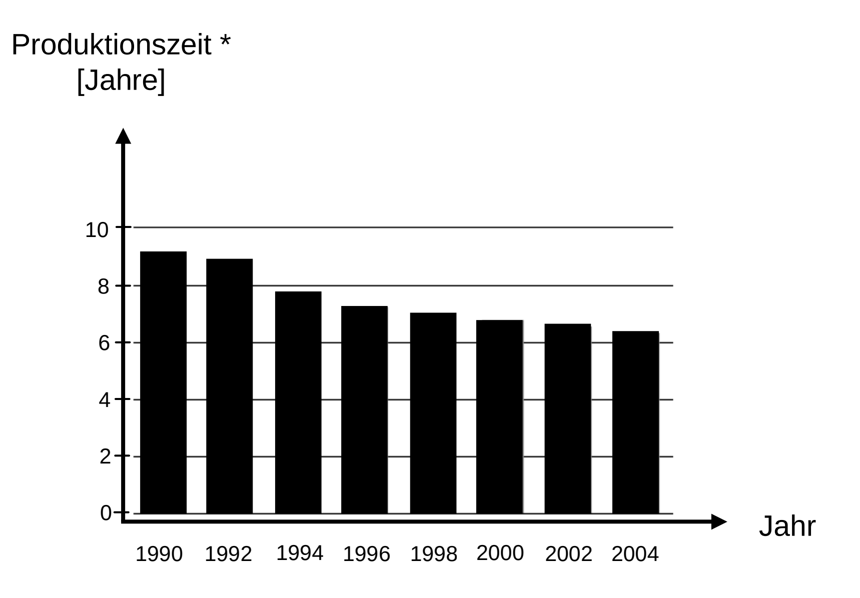


Abbildung 2-12: Produktionszeit europäischer Fahrzeugmodelle nach [Wemh05]

Es ist davon auszugehen, dass sich der Trend zu kürzeren Produktionszeiten fortsetzen wird. Der VW Golf V ist z. B. nach nur fünf Jahren Produktionszeit durch den VW Golf VI ersetzt worden. Ferner ist zu berücksichtigen, dass heutzutage Modelle oftmals nach zwei bis drei Jahren optisch aufgefrischt und auch zwischendurch technisch modifiziert werden. Die Anzahl der angesprochenen „Facelifts“ und der technischen Modifikationen nimmt stetig zu.

In der Automobilindustrie wird der Konstruktions- und Planungsqualität besondere Beachtung geschenkt. Die Digitale Fabrik leistet auch in diesem Bereich einen positiven Beitrag. Sie gestattet es Konstruktions- und Planungsfehler frühzeitig zu entdecken und geeignete Gegenmaßnahmen einzuleiten. Durch die frühzeitige Fehlererkennung und Fehlerbehebung werden erneut Kosten vermieden und Zeit eingespart. Hinsichtlich der erwähnten

Kostenreduktion wird auf die VDI-Richtlinie 2247 verwiesen, die sinngemäß sagt, dass je früher ein Fehler entdeckt wird, desto geringer der erforderliche Aufwand zu dessen Beseitigung ist [VDI2247]. Ferner gilt zu beachten, dass spät entdeckte Fehler oftmals zeit-intensive Änderungsschleifen im Produktentwicklungsprozess bedingen. Üblicherweise ist an die Stelle im Ablauf zurückzukehren, an welcher der Fehler entstanden ist. Der Fehler muss korrigiert und die Folgen der Änderung müssen geprüft werden. Es kann erforderlich werden, dass ganze Planungsschritte erneut zu absolvieren sind.

Bei der obigen Diskussion hinsichtlich Kosteneinsparungen mittels der Digitalen Fabrik ist jedoch zu beachten, dass die Einführung von modernen IT-Tools zur Unterstützung von Produktentwicklung, Produktionsplanung und Produktion nicht unerhebliche Investitionen erforderlich macht. Aus diesem Grund tun sich kleine und mittelständische Unternehmen mit der Thematik der Digitalen Fabrik nach wie vor schwer. Zu den Aktivitäten der Automobil- und Flugzeughersteller im Bereich der Digitalen Fabrik ist zu sagen, dass diese noch nicht abgeschlossen sind.

2.4 Varianten und Variantenmanagement

2.4.1 Begriffsbestimmung und Allgemeines

Nach [Schu88] unterscheidet sich eine Variante durch eine geringfügige Abweichung von einem Grundtyp. Diese geringfügige Abweichung kann jedoch aus Konstruktions- und Montagesicht schwerwiegende Konsequenzen haben und muss deshalb in Hinblick auf ihre Zulässigkeit untersucht werden.

Im Bereich der Technischen Produktionsplanung müssen stets drei Arten von Varianten berücksichtigt und unterschieden werden: Produkt-, Prozess- und Ressourcevarianten (vgl. Abbildung 2-13). Diese stehen in direkter wechselseitiger Beziehung, wobei im Rahmen dieser Arbeit nur auf den Fall der produktvarianten-induzierten Produktionsvarianz einge-gangen wird. Prozess- und Ressourcevarianten werden folglich nur durch Produktvarianten bedingt.

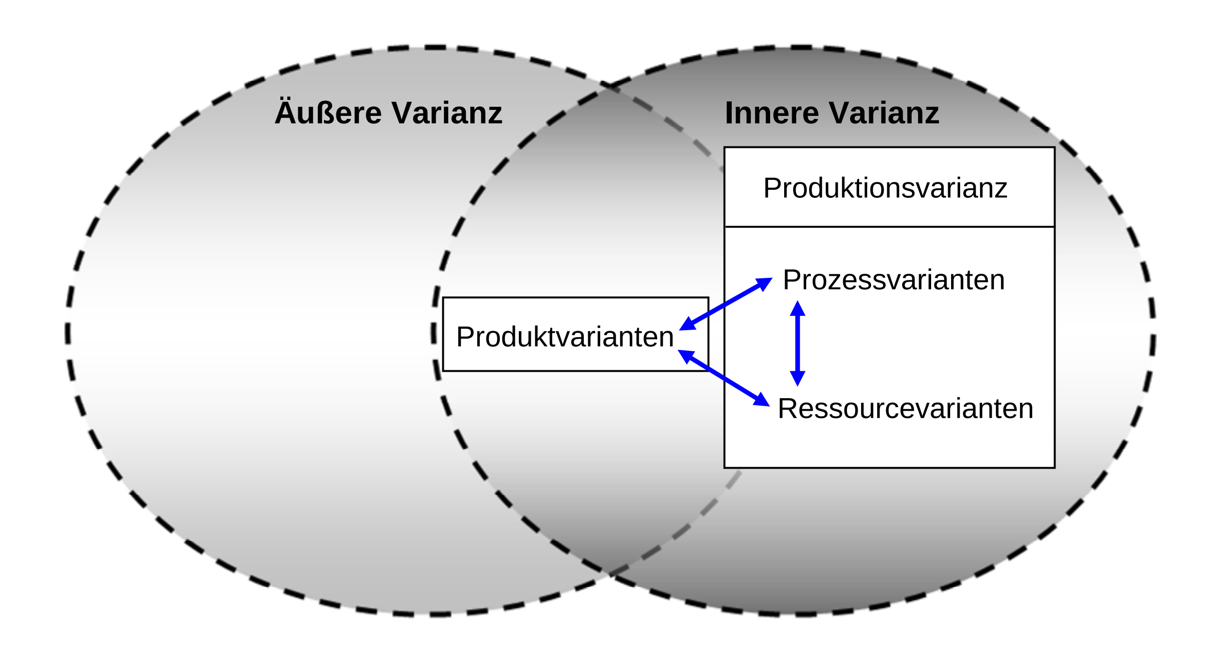


Abbildung 2-13: Zu berücksichtigende Variantenarten

Bei der Betrachtung von Abbildung 2-13 fällt ferner auf, dass generell zwischen äußerer und innerer Varianz differenziert wird. Die äußere Varianz ist vom Kunden wahrnehmbar, während die innere Varianz primär das produzierende Unternehmen interessiert und tangiert. [FeGe08]

Der Kunde nimmt üblicherweise nur die Anzahl der im Angebot befindlichen Produktvarianten wahr und wählt bei der konkreten Kaufentscheidung normalerweise die Variante aus, die am ehesten seinen individuellen Ansprüchen genügt. Natürlich spielen unterschiedliche Faktoren bei der Hersteller- und Produktwahl eine Rolle. Allerdings hat sich das Kaufverhalten im Automobilbereich in den letzten Jahren verändert. Neue Fahrzeuge werden zunehmend nach individuellen Vorstellungen in Kombination mit wirtschaftlichen Aspekten ausgewählt, wobei die Markentreue an Bedeutung verliert.

Prozess- und Ressourcevarianten interessieren den Kunden an sich eher nicht. Diese Thematik wird, wenn überhaupt, höchstens über das Produkt bzw. dessen Preis wahrgenommen. Die Wahl der Prozesse und Ressourcen beeinflusst teilweise die Produktanmutung sowie die Produktqualität und spiegelt sich auch in den Herstellungskosten wider. Die äußere Varianz wird im Automobilbereich üblicherweise vom Vertrieb definiert und überwacht. Eine Kontrolle der äußeren Varianz ist absolut erforderlich, da eine falsch verstandene Kundenorientierung zu explodierenden Variantenzahlen und dadurch zu starken wirtschaftlichen Problemen führen kann [BoSS97].

Aus produktionstechnischer Sicht ist besonders die innere Varianz von Interesse. Die innere Varianz ist umso größer, je mehr Prozess- und Ressourcevarianten zur Auftragsabwicklung der unterschiedlichen Produktvarianten erforderlich sind. Durch innere Varianz entsteht Komplexität und daraus resultieren erhöhte Herstellungskosten [HeOM00]. Aus diesem Grund versuchen die produzierenden Unternehmen, die innere Varianz so gering wie möglich zu halten. Um dieses Ziel zu erreichen, wird ein adäquates Variantenmanagement benötigt.

Nach [Meng01] umfasst ein adäquates Variantenmanagement alle Steuerungsvorgänge zur Optimierung der Variantenvielfalt und zur Beherrschung der Auswirkungen der bestellbaren Produktvarianten. Für das Management der Variantenvielfalt sind nach [Fran98] zwei Prinzipien zu beachten: unnötige Varianten vermeiden und notwendige Varianten beherrschen. Diese Aussage hat ihre Berechtigung, sie hilft den produzierenden Unternehmen aber nur bedingt weiter. Diese benötigen vielmehr einen umfassenden Ansatz zum Variantenmanagement von Produkt-, Prozess- und Ressourcevarianten.

Es bleibt festzuhalten, dass der heutige Markt nach einer hohen äußeren Varianz, d. h. nach klar ersichtlichen, bestenfalls sogar frei konfigurierbaren Produktvarianten, verlangt. Dies ist natürlich nicht ohne innere Varianz bei den Herstellern möglich. Letztlich müssen die produzierenden Unternehmen das wirtschaftliche Optimum hinsichtlich der äußeren und inneren Varianz finden [Hein99, PoLi08]. Dies erweist sich in der Praxis allerdings als schwierig. Erst nach Anlauf der Produktion bzw. dem Eintreffen der ersten Kundenbestellungen ist im Automobilbereich normalerweise erkennbar, welche Produktvarianten vom Markt angenommen werden und was dies für die äußere und innere Varianz tatsächlich bedeutet. In den frühen Phasen der Endmontageplanung herrscht in Bezug auf diese Thematik hingegen meist eine gewisse Unklarheit. Es gibt oftmals keine wirkliche Transparenz in Hinblick auf die tatsächlich vorhandene Produktionsvarianz. Ein adäquates Planungsvorgehen und ein damit verknüpftes, umfassendes Variantenmanagement bezüglich Produkt-, Prozess- und Ressourcevarianten sind in frühen Planungsabschnitten noch nicht verfügbar. Eine Identifikation, wo und warum Prozess- und Ressourcevarianten auftreten und welche Konsequenzen dies mit sich bringt, ist für projektbeteiligte Personen mitunter schwierig [WeBl08b].

2.4.2 Produktvarianten

In der DIN 199 werden Produktvarianten wie folgt definiert:

> Produktvarianten sind „*Gegenstände ähnlicher Form und/oder Funktion mit in der Regel hohem Anteil identischer Gruppen oder Teile*“. [DIN199]

Produktvarianten sind im Automobilbau die vom Kunden konfigurierbaren Fahrzeuge einer Baureihe. Die Auswahlmöglichkeiten an Karosserieformen, Motoren, Getrieben, Fahrwerken, Ausstattungslinien, Farben und Innenmaterialien sowie sonstigen Sonderaustattungen können dabei beachtlich sein. Rein mathematisch betrachtet ergeben sich unglaublich viele Kombinationsmöglichkeiten, die zu neuen Fahrzeugvarianten führen – auch wenn die sich so generierten Fahrzeuge letztlich nur in einem winzigen Bauteil oder sogar dessen Farbe voneinander unterscheiden.

Daimler spricht z. B. in Bezug auf die im Jahre 2000 eingeführte Mercedes C-Klasse von 10^{27} technisch möglichen Varianten [BDVH03]. Bei BMW werden als mögliche Zahl sogar 10^{31} Varianten bei verschiedenen Fahrzeugen genannt [MöSG07]. Nach [Götz07] sind die technisch möglichen Varianten selbst bei europäischen Volumenfahrzeugen, wie z. B. VW Golf (10^{23} Varianten), Opel Astra (10^{17} Varianten) und Ford Focus (10^{16} Varianten), beachtlich.

In Summe sollte den zuvor erwähnten Zahlen jedoch nicht zu viel Beachtung geschenkt werden. Den Kaufinteressenten werden zuweilen immer noch bestimmte Kombinationen an Farben, Ausstattung etc. verwehrt und bestimmte Sonderausstattung ist nur im Paket mit anderer Zusatzausstattung erhältlich. Aus Sicht der Endmontage relativieren sich zudem die angeführten Zahlen – ansonsten wäre die Fahrzeugmontage in einer Endmontagelinie mitunter auch als nicht sinnvoll einzustufen. Bauteilfarben und -materialien sind zwar aus logistischer Sicht für die Endmontageplanung bedeutsam, auf die Montage der Bauteile haben sie jedoch meist keinen Einfluss.

Für die Verwaltung der Produktdaten gibt es eine Vielzahl von Ansätzen. Das Spektrum reicht von unterschiedlichen Stücklisten bis hin zu PDM-Systemen [EiSt01]. Die Automobilhersteller greifen heutzutage sowohl auf Stücklisten- als auch PDM-Systeme zurück.

Das System zur Stücklistenverwaltung wird zuweilen auch als BOM-System („Bill-of-Materials“-System) bezeichnet. Das BOM-System bildet eine wichtige Grundlage für

Planungsaktivitäten, da dort die Produktstruktur dokumentiert ist. Da sich die Produktstruktur im Automobilsektor von Baureihe zu Baureihe meist ähnelt, kann sich zu Projektbeginn entweder am strukturellen Aufbau der Vorgängerbaureihe oder vergleichbarer Baureihen orientiert werden. Prinzipiell besteht z. B. die Fahrzeugkarosserie einer Limousine, eines Kombis oder eines Sportcoupés immer aus einer Bodengruppe, einem Vorderwagen und Heckbereich, aus zwei Seitenwänden und einem Dach. Erst auf Baugruppen- oder Einzelteil-ebene wird es dann fahrzeugspezifisch. [Burr08]

Abbildung 2-14 zeigt beispielhaft eine Möglichkeit zum Aufbau einer Produktstruktur. Es werden üblicherweise vier oder fünf Detaillierungsebenen unterschieden. Auf der obersten Ebene befindet sich stets das Erzeugnis, während sich auf der untersten Ebene normalerweise die Varianten der Einzelteile (kurz: Teilevarianten) befinden. Eine Differenzierung zwischen Baugruppe und Unterbaugruppe findet jedoch nicht immer statt. An dieser Stelle sei noch erwähnt, dass auch eine Prozessstruktur, ähnlich der gezeigten Produktstruktur, angelegt werden kann. [Jona00, Rudo06]

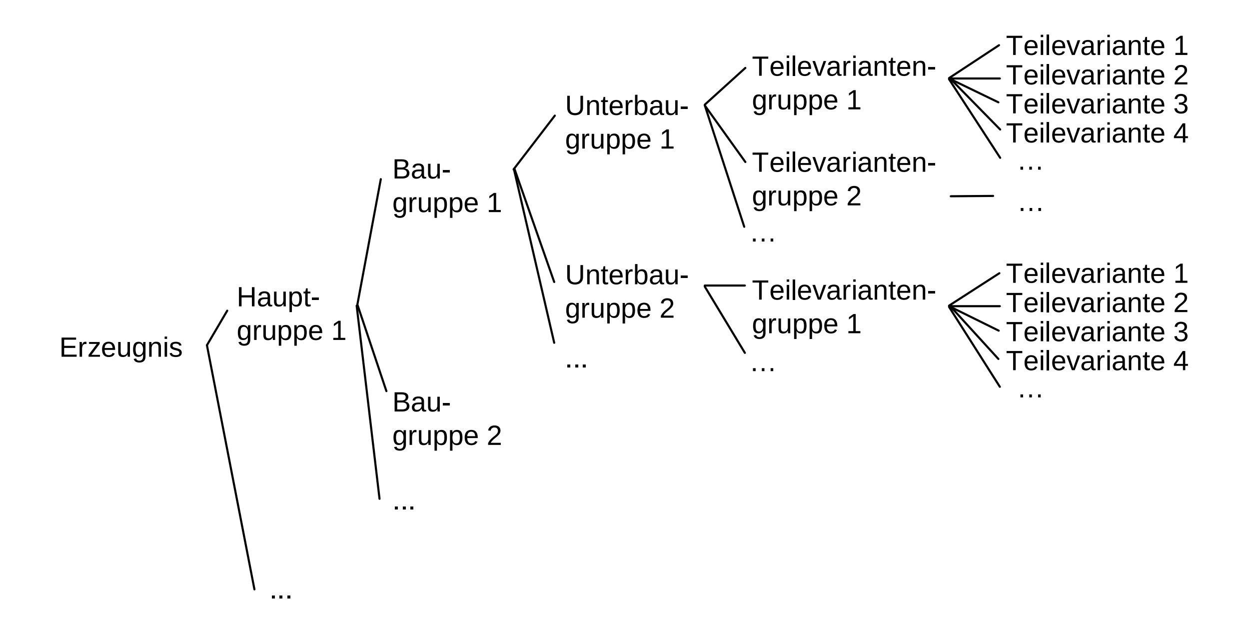


Abbildung 2-14: Möglichkeit zum Aufbau einer Produktstruktur nach [Jona00, Rudo06]

Im Stücklistensystem ist eine Auflösung nach einzelnen Produktvarianten über die so genannte Code-Steuerung möglich. Im Allgemeinen stellt der Code eine unter Verkaufs-, Funktions- und Steuerungsgesichtspunkten gebildete Verschlüsselung von Bestandteilen der Produktstruktur dar. Eine Code-Regel besteht aus einer Reihe von Codes, die über Boolesche Operatoren miteinander verknüpft sind. Die Codes sind auch zum Teil für die Kauf-

interessenten in den Fahrzeugprospekten ersichtlich. Die vom Kunden in Form seines konkreten Auftrages gewählten Ausstattungskomponenten, die mit bestimmten Codes gekennzeichnet sind, determinieren die Auswahl der für die Herstellung des Fahrzeuges erforderlichen Baugruppen und Teile aus der Stückliste. Die Code-Regeln stellen dabei sicher, dass nur technisch sinnvolle bzw. gewollte Baugruppen- und Teilekombinationen auftreten. [Jani04]

Code-Regeln sind auch in den marktgängigen PDM-Systemen verfügbar. Ein PDM-System hat generell sicherzustellen, dass eindeutig und reproduzierbar nach Produktkonfigurationen aufgelöst werden kann [EiSt01]. Automobilhersteller haben üblicherweise eigenständige Abteilungen, die sich nur mit der Frage der Erstellung der Code-Regeln und Code-Steuerung beschäftigen.

Das Ziel des PDM-Einsatzes ist zum einen die Verwaltung von Daten und Dokumenten und zum anderen die Integration der Datenverwaltung mehrerer Erzeugnissysteme. Die geometrischen Bauteildaten werden üblicherweise mit allen produktbeschreibenden Zusatzinformationen im PDM-System strukturiert abgelegt. Von vielen Systemen wird neben der Metadatenhaltung und -konfiguration auch ein Workflow-Management angeboten, das zum systematischen Informationsfluss bei Freigabe- und Änderungsprozessen beitragen kann. [Sysk06]

Obwohl bekannt ist, dass ein zentraler Datenmanagementansatz bezüglich Produkt-, Prozess- und Ressourcedaten als erstrebenswert gilt [BSEM05], werden heutzutage diese Daten üblicherweise nicht durchgängig in einem System, sondern in eigenständigen, „verstreuten“ Systemen verwaltet. Zwar gibt es in Bezug auf diese Thematik verstärkte Forschungsaktivitäten sowohl von der Seite der Industrie als auch der Universitäten – exemplarisch sei an dieser Stelle auf [VBDW04] verwiesen –, allerdings ist nicht absehbar, wann tatsächlich ein einzelnes zentrales Datenmanagementsystem mit den Funktionalitäten und Umfängen aller derzeit existierenden Einzelsysteme realisiert bzw. auf dem Markt erhältlich sein wird.

2.4.3 Prozess- und Ressourcevarianten

Eine Variantendefinition, die sich mehr auf die Varianz technischer Systeme und somit auf Prozess- und Ressourcevarianten bezieht, ist in [FrFi98] zu finden. Dort ist eine Variante eines technischen Systems wie folgt definiert:

> „*Eine Variante eines technischen Systems ist ein anderes technisches System gleichen Zwecks, das sich in mindestens einer Beziehung oder einem Element unterscheidet. Ein Element unterscheidet sich von einem anderen Element in mindestens einer Eigenschaft.*“ [FrFi98]

Von Prozessvarianten wird üblicherweise gesprochen, wenn sich Prozesse für alternative Teile (Teilevarianten) im Verfahren bzw. Ablauf unterscheiden oder wenn bei prinzipiell identischen Verfahren und Abläufen unterschiedliche Prozesszeiten resultieren. Prozessvarianten führen mitunter auch zu Ressourcevarianten [BlFZ03]. Von Ressourcevarianten wird gesprochen, wenn zur Erfüllung der produktionstechnischen Aufgaben unterschiedliche Betriebs- bzw. Arbeitsmittel erforderlich werden bzw. wenn diese variantenspezifisch in mehrfacher Ausführung zur Verfügung stehen müssen.

Zwischen Produkt, Prozess und Ressource (kurz: PPR) gibt es immer eine Wechselwirkung, die es zu beachten gilt [Fran03, BlWe08, EASP09]. Die Bauteilgestaltung hat oftmals Auswirkungen auf die Prozess- und Ressourcewahl. Genauso kann aber auch die Ressourcewahl rückwirkend eine Veränderung auf der Prozess- und/oder Produktebene bedingen. Ein anschauliches, fiktives Beispiel, wie unterschiedliche Bauteilkonstruktionen zu Prozess- und Ressourcevarianten führen, ist in Tabelle 2-1 gezeigt.

Je nachdem, wie die Konstruktionsabteilung Bauteile für Produkte bzw. Produktvarianten gestaltet und welche Fügeverfahren und gegebenenfalls Verbindungselemente zur Montage ausgewählt werden, variieren die erforderlichen Prozesse und Ressourcen die zur Fertigstellung der Produkte/Produktvarianten erforderlich sind. Dieser Sachverhalt ist den produzierenden Unternehmen bekannt, und es wird versucht über Standardisierungsmaßnahmen einer ausufernden Varianz entgegenzuwirken.

Zierleiste	Montageprozesse	Erforderliche Ressourcen
Typ 1: zu verschraubende Zierleiste Schrauben	1. Zierleiste nehmen 2. Sichtprüfung 3. Zierleiste in Fügeposition bringen 4. Zierleiste verschrauben 5. Halt prüfen	Stabschrauber
Typ 2: zu verclipsende Zierleiste Clipse	1. Zierleiste nehmen 2. Sichtprüfung 3. Zierleiste in Fügeposition bringen 4. Zierleiste verclipsen 5. Halt prüfen	/
Typ 3: zu verklebende Zierleiste Selbstklebende Stellen	1. Zierleiste nehmen 2. Sichtprüfung 3. Schutzfolie von selbstklebenden Stellen entfernen 4. Zierleiste in Fügeposition bringen 5. Anpressen 6. Halt prüfen	/
Typ 4: zu verklebende Zierleiste Angeraute Stellen für Kleber	1. Zierleiste nehmen 2. Sichtprüfung 3. Kleber aufbringen und homogen verteilen 4. Zierleiste in Fügeposition bringen 5. Anpressen und kurz warten 6. Halt prüfen	Klebepistole, Rakel

Tabelle 2-1: Fiktives Beispiel einer bauteil-induzierten Produktionsvarianz

Bei der Endmontageplanung von Fahrzeugen werden weitestgehend standardmäßig digitale PPR-Modelle erstellt. Die Produktstruktur wird oftmals aus der Produktentwicklung mitsamt den Code-Regeln in ein digitales Planungstool übertragen. Die Montageplaner haben dann die Aufgabe die erforderlichen Montageprozesse zu definieren und die benötigten Ressourcen festzulegen. Teile, Prozesse und Ressourcen werden dabei in Relation gesetzt. Tabelle 2-2 zeigt auf abstrakte Weise, wie eine Verknüpfung von Teilen, Prozessen und Ressourcen in Bezug auf das Beispiel aus Tabelle 2-1 aussehen würde. Auch auf der Prozess- und Ressourceebene können Codes bzw. Code-Regeln vergeben werden.

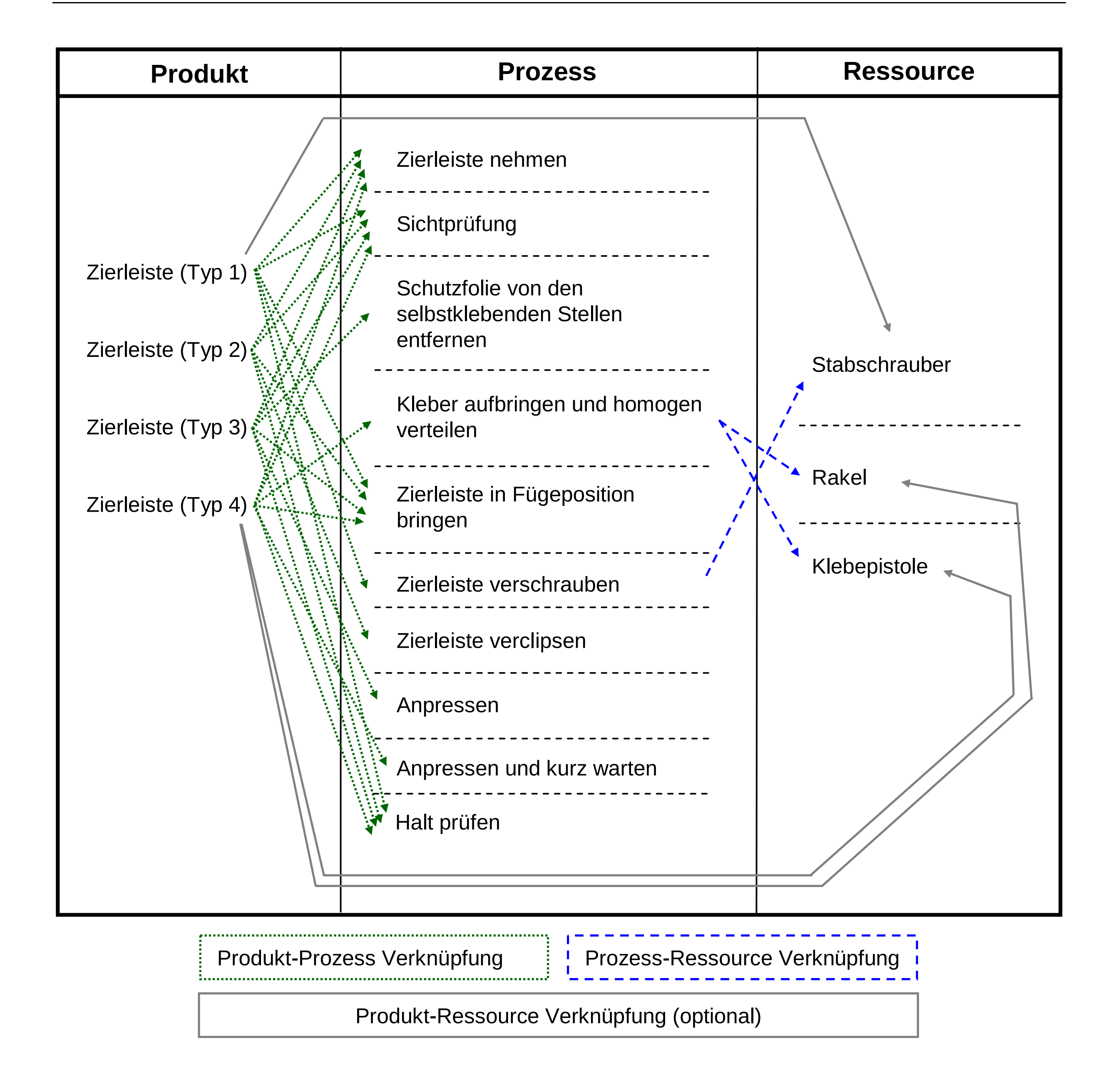


Tabelle 2-2: Abstrakte Darstellung einer PPR-Verknüpfung

Wie aus Tabelle 2-1 und Tabelle 2-2 ersichtlich, wird die Prozess- und Ressourcewahl durch die Bauteilgestaltung und die Wahl des Fügeverfahrens bestimmt. Je nach Zierleistentyp sind unterschiedliche Montageprozesse erforderlich, die mitunter auch einen speziellen Ressourceeinsatz bedingen. Beim Verbau der unterschiedlichen Zierleisten würden differierende Montagezeiten und Investitionskosten in benötigtes Equipment resultieren. Beim Verbau des Zierleistentyps 4 wäre mit den höchsten Montagezeiten und zusätzlichen Investitionen und laufenden Kosten hinsichtlich der erforderlichen Ressourcen zu rechnen. Die aus Montagesicht schnellste und kostengünstigste Zierleistenvariante wäre hingegen Typ 2. An diesem einfachen, fiktiven Beispiel ist ersichtlich, dass bereits bei der Bauteilgestaltung Produktions-

aspekte tangiert werden. Daher ist es wichtig, dass Experten aus dem Produktionsbereich so früh wie möglich in den Konstruktionsprozess der Bauteile involviert werden. In der Automobilindustrie spielt die produktionsgerechte Produktgestaltung heutzutage eine wichtige Rolle [WBKM08]. Jedoch ist zu beachten, dass nicht nur dem Aspekt der produktionsgerechten Produktgestaltung während der Bauteilentwicklung Beachtung geschenkt werden muss. Heutzutage sind sehr viele Aspekte aus unterschiedlichen Bereichen zu berücksichtigen, die üblicherweise unter dem Begriff Design-for-X zusammengefasst werden. Umweltaspekte, Qualitätsansprüche sowie Kostenfaktoren sind z. B. neben der produktionsgerechten Produktgestaltung zu berücksichtigen.

Bei dem gewählten, fiktiven Zierleistenbeispiel ist es relativ einfach, die erforderlichen Montageprozesse zu bestimmen, und es wäre auch problemlos möglich den einzelnen Montageschritten recht genaue Montagezeiten zuzuordnen sowie gegebenenfalls die Kosten für die Beschaffung und den Betrieb der Ressourcen zu ermitteln. Diese Aufgabe wird jedoch umso schwieriger, je komplexer das zu verbauende Bauteil ist. Ferner hat auch die konkrete Verbausituation einen Einfluss. Es ist möglich, dass gleiche oder sehr ähnliche Bauteile beim Einbau in unterschiedliche Fahrzeuge – z. B. Coupé und SUV – unterschiedliche Montageprozesse und/oder -zeiten benötigen. Zudem können zur Montagedurchführung auch andere Ressourcen benötigt werden, da sich bei den unterschiedlichen Produktvarianten der zur Verfügung stehende Verbauraum ändert. Insofern macht es Sinn Verbausituationen und bauteilübergreifende Wechselwirkungen explizit zu beachten.

Sowohl die Planungstools von Dassault Systèmes als auch die Planungstools von Siemens bieten Möglichkeiten zur Verknüpfung von Produkt-, Prozess- und Ressourcedaten. Nichtsdestotrotz kann noch nicht von einem adäquaten Variantenmanagement gesprochen werden. Die Übersichtlichkeit in den heutigen digitalen Tools ist partiell immer noch verbesserungswürdig, und in den frühen Planungsphasen ist oftmals keine ausreichende Unterstützung in Hinblick auf eine detaillierte Variantenauflösung gegeben.

Nach einer vollständig abgeschlossenen Prozess- und Ressourceplanung kann zwar theoretisch eine Auflösung nach einzelnen, technisch sinnvollen Produktvarianten mitsamt den zugehörigen Prozessen und Ressourcen über die Code-Regeln erfolgen, eine Auswertung der im Fahrzeugprojekt generell vorhandenen Prozess- und Ressourcevarianz wird aber noch nicht ausreichend unterstützt.

2.5 Wiederverwendung von Ressourcen und Volumenflexibilität

2.5.1 Begriffsbestimmung und Allgemeines

In dieser Arbeit ist unter dem Begriff der Wiederverwendung von Ressourcen die Mehrfachnutzung von Equipment über mehrere Fahrzeugprojekte hinweg zu verstehen. Eine eindeutige Definition der Begrifflichkeit wurde im Rahmen eines Industrieprojektes für die Daimler AG erstellt. In dem am Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM angefertigten Abschlussbericht ist die Wiederverwendung von Ressourcen wie folgt definiert:

> *„Wiederverwendung (von Ressourcen) ist die höchste Form des Recyclings, bei der komplette, gebrauchstüchtige Ressourcen aus Vorgängerlinien entnommen, gegebenenfalls gelagert, aufbereitet und angepasst oder direkt wieder (bei neuen Fahrzeugprojekten) eingesetzt werden."* [WSRF07]

Die Thematik der Wiederverwendung von Ressourcen wird für die Automobilindustrie zunehmend interessanter, da die Produktionszyklen einzelner Fahrzeugmodelle immer kürzer werden. Einige Automobilhersteller sind bereits auf diesem Gebiet – vorwiegend im Bereich des Rohbaus – aktiv [Imgä04, Wemh05, Schr08]. Des Weiteren gibt es zunehmend Projekte, die sich mit der Wiederverwendung von Ressourcen beschäftigen – exemplarisch seien an dieser Stelle das abgeschlossene BMBF-Projekt PRONA und das noch bis zum August 2010 laufende EU-Projekt PISA genannt. Ferner gibt es eine Reihe von Publikationen, wie z. B. [Schm00, Spat00, WeBu00, KoHH05, KFHS06, FlHS08], die sich mit der Thematik der Wiederverwendung von Ressourcen auseinandersetzen.

Der Begriff der Flexibilität hingegen wird von vielen Autoren in unterschiedlichen Zusammenhängen verwendet. Gegenwärtig ist im Automobilsektor das Interesse an der Thematik einer flexiblen Produktion groß [Bär08]. Nicht nur die industrielle, sondern auch die akademische Seite beschäftigt sich ausgiebig mit dieser Thematik. Exemplarisch seien Publikationen von Wiendahl et. al. [WiHe04, WENZ07] und ElMaraghy et. al. [ElMa05, ElMa09] genannt, die sich teils theoretisch mit dieser Thematik auseinandersetzen, teils aber auch konkrete Praxisanforderungen diskutieren und konkrete Lösungsmöglichkeiten aufzeigen.

Flexible Produktionslinien sollen an unerwartete oder sich ändernde Verhältnisse einfach anpassbar sein und sollen einen entscheidenden Beitrag zur Wirtschaftlichkeit der Produktion leisten [Frie08]. Hierbei kann zwischen verschiedenen Flexibilitätsarten, wie z. B. der Produktflexibilität und der Volumenflexibilität, unterschieden werden. In Bezug auf die Automobilindustrie gibt es bereits einige Ansätze, um zu flexiblen Produktionslinien im Rohbau bzw. in der Endmontage zu gelangen [Wemh05, Rosc07].

Der Begriff der Produktflexibilität besagt, dass eine Möglichkeit besteht, unterschiedliche Fahrzeuge aus unterschiedlichen Baureihen wirtschaftlich auf einer Linie zu produzieren (vgl. Abschnitt 2.2.2). Produktflexiblen Linien wird oftmals nachgesagt, dass sie anpassungsfähiger an neue Gegebenheiten und Produkte sind. Dies mag in Einzelfällen zutreffend sein, als allgemeingültig darf diese Aussage allerdings nicht angesehen werden. Ferner sei darauf hingewiesen, dass eine Wiederverwendung ganzer Linien auch negative Effekte haben kann, da neue Produkte so konstruiert werden müssen, dass sie auf den vorhandenen Linien produzierbar sind. Dieser Umstand kann zu schwerwiegenden Design- und Entwicklungsrestriktionen auf der Produktseite führen.

In der Vergangenheit wurde speziell im Rohbau nach Möglichkeiten gesucht, um zu produktflexiblen Linien zu gelangen. An dieser Stelle sei auf Automobilhersteller wie Toyota, Nissan und Ford hingewiesen, die auf diesem Gebiet Vorreiter waren und immer noch sind. Allerdings ist bis dato noch nicht der endgültige Beweis erbracht, dass die realisierten Rohbaustraßen von Toyota, Nissan und Ford tatsächlich wirtschaftlicher sind als die Rohbaulinien anderer Hersteller. Es muss beachtet werden, dass der Planungsaufwand sowie das Investitionsvolumen bei Rohbaulinien mit einer gewissen Produktflexibilität wesentlich höher sind als bei herkömmlichen Linien. Diese Aussage ist übrigens auch für produktflexible Endmontagelinien zutreffend.

Eine weitere Flexibilitätsart, die es zu beachten gilt und die im Rahmen dieser Arbeit für den Endmontagebereich betrachtet wird, ist die so genannte Volumenflexibilität. Heutige Produktionslinien werden meist auf bestimmte Stückzahlen ausgelegt, wobei diese Zahlen im Vorfeld vom Vertrieb prognostiziert werden. Sind die Prognosen jedoch unzutreffend, so muss nach dem Produktionsbeginn auf die tatsächlich vorherrschende Situation reagiert werden. Eine theoretische, umfangreiche Volumenanpassung nach SOP wird jedoch oftmals nicht explizit und detailliert im Planungsprozess berücksichtigt. Dies hängt auch damit zusammen, dass mittel- bzw. langfristig prinzipiell immer über eine Veränderung des Schichtbetriebes

und/oder über eine Umtaktung eine Anpassung an die reale Nachfrage erfolgen kann [Rosc07]. Es stellt sich an dieser Stelle allerdings die Frage, ob auf Basis von frühzeitigen planerischen Überlegungen bei der Auslegung der Linie nicht kurzfristigere Möglichkeiten zur wirtschaftlichen Volumenanpassung realisiert werden können. Prinzipiell stellt der derzeitige Mangel an einer schnell realisierbaren, wirtschaftlichen Volumenanpassung nicht nur im Rohbaubereich, sondern auch in der Endmontage ein Risiko dar. Zwar gilt der Bereich der Endmontage generell als recht flexibel, allerdings muss auch hier mit Schwierigkeiten gerechnet werden, wenn die vorhergesagte Nachfrage deutlich von der realen Nachfrage nach SOP abweicht.

2.5.2 Wiederverwendung von Ressourcen

In der Automobilindustrie ist das Interesse an der Mehrfachnutzung von Ressourcen groß, weil sich dadurch theoretisch drastische Kosteneinsparungen realisieren lassen und sich somit das Risiko von Fehlinvestitionen eindämmen lässt. Dass sich bei einer Mehrfachnutzung von Ressourcen allerdings nicht nur Vorteile ergeben, wird aus Tabelle 2-3 ersichtlich.

Vorteile	Nachteile
▪ Verringerung der erforderlichen Investitionskosten in Ressourcen	▪ Unsicherheiten bezüglich der Restlebensdauer der Ressourcen und der Ersatzteillage
▪ Keine Lieferzeiten	▪ Keine „Garantieansprüche“
▪ Wissen über die Ressourcen im Unternehmen vorhanden	▪ Evtl. sind bereits effizientere Ressourcen auf dem Markt
▪ Technisch machbar, meist ohne unsicheren Hochlauf	▪ Ressourcen müssen u. U. aufbereitet und angepasst werden

Tabelle 2-3: Vor- und Nachteile der Wiederverwendung von Ressourcen

Die voranschreitende Standardisierung und Modularisierung im Automobilsektor können als Wegbereiter für die Wiederverwendung von Ressourcen gesehen werden. Die zunehmenden

technologischen Fortschritte machen hingegen die Mehrfachnutzung teilweise erneut unattraktiv.

In Hinblick auf die Thematik der Wiederverwendung von Ressourcen herrscht zum Teil eine gewisse Unentschlossenheit unter den europäischen Automobilherstellern. Dies kann auch damit begründet werden, dass sie kaum Erfahrungen auf dem Gebiet der Mehrfachnutzung von Ressourcen haben und daher diesbezüglich eher zurückhaltend sind. Erschwerend kommt hinzu, dass exakte Methoden zur genauen Bewertung der Zweckmäßigkeit der Mehrfachnutzung von Ressourcen fehlen und im Falle einer angestrebten Beurteilung ein nicht unerheblicher Aufwand zur Klärung der Frage der tatsächlichen Wirtschaftlichkeit des Unterfangens betrieben werden muss. Für die konkrete Bewertung der Zweckmäßigkeit einer Mehrfachnutzung einer bestimmten Ressource müssen sehr viele Daten in Hinblick auf die Ressource verfügbar sein, die nach jetzigem Stand aber oftmals nicht detailliert vorliegen [FlHS08]. Einerseits werden z. B. generelle Ressourceinformationen bezüglich Abmessungen, Anschlüsse, Steuerungstechnik, Energiebedarf usw. benötigt, andererseits müssen aber auch spezielle Angaben zur Verfügung stehen, wie z. B. Informationen über geleistete Betriebsstunden, über aufgetretene Störzeiten, über durchgeführte Wartungsarbeiten etc., um nur einige Punkte exemplarisch zu nennen.

Die asiatischen Automobilhersteller stehen der Thematik der Wiederverwendung von Ressourcen anscheinend etwas offener gegenüber. Allerdings muss eingeräumt werden, dass sie auch eine besondere Blickrichtung auf die Mehrfachnutzung von Ressourcen haben. Die asiatischen Hersteller versuchen oftmals komplette, bestehende Linien nochmals für neue Fahrzeugprojekte zu nutzen. Zwar gelingt es ihnen damit Investitionskosten in Bezug auf erforderliches Produktionsequipment zu reduzieren, allerdings wird sich dieser Kostenvorteil teilweise mit Innovationsdefiziten erkauft [Wemh05]. Bei der Mehrfachnutzung einer kompletten Produktionslinie muss die Fahrzeugentwicklung viele Restriktionen berücksichtigen. Es muss ein Fahrzeug entwickelt werden, welches aus Teile- und Fertigungssicht sehr ähnlich zu dem vorherig produzierten Automobil ist und dies kann Innovationen erschweren. Es stellt sich die Frage, ob die potentiellen Kunden dies merken bzw. ob sie bereit sind dies zu akzeptieren – zumal die Kosteneinsparungen nicht unbedingt an den Kunden weitergegeben werden. Es könnte passieren, dass ein Teil der Kunden auf Produkte anderer Hersteller umsteigt, da diese neuere, innovativere Fahrzeuge anbieten.

Generell erscheint es fraglich, ob eine Mehrfachnutzung ganzer Linien für die europäischen „Premium-Hersteller“ erstrebenswert ist. Vielleicht wäre es sinnvoller, nur bestimmte Ressourcen aus Vorgängerlinien für neue Fahrzeugprojekte zu verwenden und diese gegebenenfalls bis zum Verwendungszeitpunkt zwischenzulagern. Insgesamt erscheint die derzeitige Herangehensweise an die Thematik der Wiederverwendung von Ressourcen noch verbesserungsfähig. Die Entscheidung, ob eine Ressource erneut in einem bevorstehenden Fahrzeugprojekt zum Einsatz kommt, wird meist nicht im Planungsprozess selbst, sondern im Vorfeld getroffen. Oftmals bekommen die Planer strikte Vorgaben über vorhandenes Equipment, welches erneut zu verwenden ist. In diesem Fall machen sich die Planer nicht so viele Gedanken darüber, ob die im Vorfeld getroffenen Entscheidungen korrekt sind und begeben sich auch nur selten auf die Suche nach alternativen, womöglich technisch und wirtschaftlich besseren Lösungen. Es stellt sich letztlich die Frage, ob nicht eine Herangehensweise an die Thematik gefunden werden kann, die einen Start des Planungsprozesses ohne strikte Restriktionen bezüglich der Wiederverwendung von Ressourcen aus Vorgängerlinien gestattet und trotzdem effektiv und sinnvoll diesen Punkt berücksichtigt. Mit dieser Fragestellung setzt sich später noch intensiver der Abschnitt 5.2.4 auseinander.

2.5.3 Volumenflexibilität

Es gab bereits in der Vergangenheit einige Fälle, bei denen die Nachfrage nach einem neuen Fahrzeug gänzlich falsch vom Vertrieb eingeschätzt wurde. In dem Fall, dass die tatsächliche Nachfrage die Prognosen merklich übersteigt, kann eigentlich noch von dem besseren Szenario für den Produzenten gesprochen werden. Der Automobilhersteller hat dann die Option mittel- bzw. langfristig auf die unvorhergesehene Ausgangssituation mittels Zusatz- und Sonderschichten und/oder einer Umtaktung zu reagieren. Bei einer Umtaktung müssen grundlegende Veränderungen in der Produktionsstätte stattfinden und daher wird diese Maßnahme meist in der Zeit der Werksferien angegangen. Es muss generell mit erheblichen Planungs- bzw. Umsetzungskosten gerechnet werden [Rosc07]. Ähnlich verhält es sich übrigens auch, wenn die Entscheidung getroffen wird eine zusätzliche Produktionslinie für das Fahrzeug zu realisieren. In all den erwähnten Fällen muss ferner Personal geschult werden. Auch dies ist bei einer laufenden Produktion nur bedingt möglich. Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei den genannten Möglichkeiten eher um mittel- bzw. langfristige Möglichkeiten, die in Hinblick auf eine schnelle, umfangreiche Volumenanpassung unmittel-

bar nach SOP nicht unbedingt zielführend sind. Es werden andere, kurzfristige Möglichkeiten benötigt, die es erlauben die Ausbringung der Linie ohne enormen Aufwand wirtschaftlich sinnvoll zu steigern. Anderenfalls besteht das Risiko, dass der Automobilhersteller Kaufinteressenten verliert, falls diese nicht gewillt sind lange Lieferzeiten zu akzeptieren. Für effiziente kurzfristige Maßnahmen sollten im Vorfeld entsprechende planerische Überlegungen angestellt werden. Schließlich ist zu beachten, dass jedes zusätzlich über frühzeitig geplante und kurzfristig realisierbare Maßnahmen produzierte Fahrzeug Geld erwirtschaftet und ferner die Chance eröffnet einen weiteren Kunden langfristig an die eigene Marke zu binden. Diese Thematik ist für die vorliegende Arbeit relevant und wird nochmals genauer in Abschnitt 5.2.6 diskutiert.

Durch eine frühzeitige planerische Berücksichtigung der Thematik der Volumenflexibilität ließen sich auch Vorteile für den zweiten Extremfall realisieren. Gemäß dem Fall, dass die vorhergesagte Nachfrage nach dem neuen Fahrzeug viel zu optimistisch war, müssen schnellstmöglich Maßnahmen ergriffen werden, um zu einer wirtschaftlichen Produktion trotz reduzierter Ausbringung zu gelangen. Auch hier gibt es nicht nur die Option einer Änderung des Schichtbetriebes oder einer generellen Umtaktung der Linie. In solch einem Szenario könnte es z. B. sinnvoll sein, teure, kaum ausgelastete Ressourcen frühzeitig aus der Produktionslinie zu entnehmen und durch zweckmäßigere Lösungen zu ersetzen. Personelle Maßnahmen müssten zudem ebenfalls frühzeitig in Betracht gezogen werden. Auch dieses Szenario könnte bereits im Planungsprozess bedacht werden. Ferner müsste man sich bereits im Vorfeld darüber Gedanken machen, ob die freigesetzten Ressourcen bzw. Mitarbeiter eine geeignete Verwendung in anderen Fahrzeugprojekten finden könnten. Hinsichtlich der Ressourcen würde es sich erneut um eine Art der Wiederverwendungsplanung handeln.

Im Rahmen der Arbeit erfolgt eine stationsbezogene Beurteilung der Möglichkeit zur schnellen und möglichst kostengünstigen Volumenanpassung nach SOP bei unzutreffenden vertriebsseitigen Prognosen. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass diesem Ansatz naturgemäß Grenzen gesetzt sind – eine Produktionslinie, die unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvoll an beliebige Ausbringungsmengen angepasst werden kann, wird es wohl auch in Zukunft nicht geben. Es gelingt evtl. aber, dass einige unerwartete Nachfragesituationen frühzeitig abgefangen bzw. deren Auswirkungen gelindert werden können. Prinzipielles Ziel dieser Arbeit ist es, auf den Ansatz zur Erzielung einer gewissen Ausbringungsflexibilität durch frühzeitige planerische Überlegungen hinzuweisen und die Montageplaner

für diese Thematik zu sensibilisieren. In Summe sind noch viele planungstechnische Herausforderungen auf diesem Gebiet zu lösen.

In [Wemh05] wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass im Bereich der Rohbauplanung ein methodischer Mangel zur Beurteilung der Flexibilität vorliegt. Die dortigen Planer wären sich der Bedeutung der Thematik zwar bewusst und würden in Eigenverantwortung mittels des Verfahrens „Trial and Error auf Papier“ versuchen in einem gewissen Rahmen flexible Linien zu realisieren, jedoch wären sie aufgrund einer fehlenden methodischen Unterstützung oftmals im „Blindflug“ unterwegs [Wemh05]. Ähnliches lässt sich auch für die Endmontageplanung sagen.

2.6 Risiko und Risikomanagement

2.6.1 Begriffsbestimmung und Allgemeines

Es existiert keine einheitliche Definition für den Begriff des Risikos. Dies gilt sowohl für den allgemeinen Sprachgebrauch als auch für die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Thematik. Allgemein betrachtet wird der Begriff des Risikos meist für Gefahren verwendet, die negative Ereignisse auslösen können. Der Risikobegriff lässt sich zwar prinzipiell über seine sprachliche Wurzel konkretisieren – „risc“ (arabisch) bedeutet etwas göttlich Gegebenes und spielt auf den Begriff Schicksal an, „risco“ (lateinisch) bedeutet frei übersetzt das Umschiffen einer Klippe und „risicare“ (frühitalienisch) steht für etwas wagen –, dies ist aber auch nur bedingt hilfreich. [Stro06, Hein07, Grun08]

Im Rahmen dieser Arbeit wird in Anlehnung an [Link01], [Stro06] und [AhMa07] unter Risiko folgendes verstanden:

> *„Ein Risiko ist die Möglichkeit des Eintritts eines (folgeschweren) Nachteils durch ungünstige, u. U. nicht rechtzeitig wahrgenommene Entwicklungen.“*

Unter Management ist generell die Gestaltung, Lenkung und Entwicklung von zielorientierten Systemen zu verstehen [Link01]. Beim Risikomanagement kann zwischen einem proaktiven und reaktiven Ansatz unterschieden werden. Der proaktive Ansatz beschäftigt sich mit den Risiken, bevor sich Probleme aus ihnen ergeben, während beim reaktiven Ansatz gewartet

wird, bis ein Risiko zu einem Problem wird, welches einer Lösung bedarf. Der zweite Ansatz geht schon mehr in die Richtung des Problem- bzw. Krisenmanagements und ist nicht zu bevorzugen. [AhMa07]

Eine einfache und anschauliche Definition des Begriffs Risikomanagement mit Bezug auf durchzuführende Projekte findet sich in [AhMa07]. Dort heißt es:

> *„Risikomanagement ist der (systematische,) geplante Umgang mit Risiken in einem Projekt.“* [AhMa07]

Diese Definition ist für die vorliegende Arbeit hinreichend, zumal die Endmontageplanung als ein Projekt angesehen werden kann. Die Endmontageplanung ist eine zeitlich begrenzte Herausforderung mit definierten Fälligkeitsterminen, Budgetvorgaben etc., die von Personen aus unterschiedlichen Bereichen unter der Führung eines Verantwortlichen absolviert werden muss.

Wird der Risikomanagementprozess betrachtet, so können prinzipiell drei Grundphasen unterschieden werden. Die Phase der Risikoidentifikation und -bewertung, die Phase der Risikosteuerung und die Phase der Risikoüberwachung. Abbildung 2-15 zeigt den klassischen Risikomanagementprozess.

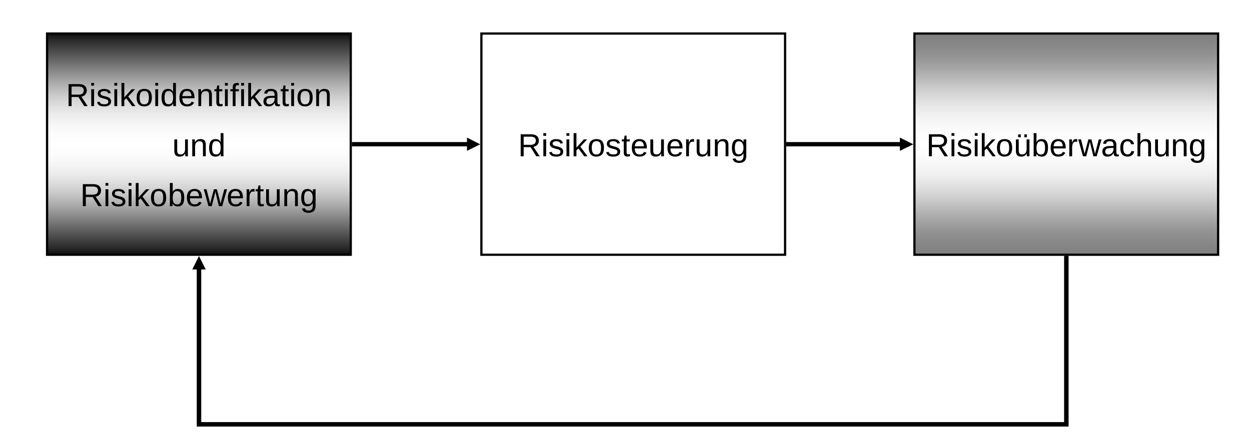


Abbildung 2-15: Klassischer Risikomanagementprozess nach [HiKW08]

Anhand der Risikoidentifikation und -bewertung kann entschieden werden, welchen absehbaren Entwicklungen proaktiv entgegenzusteuern ist. Risikosteuerung bedeutet, gezielt Maßnahmen zur Beeinflussung von Risiken zu definieren und umzusetzen. Bei der Risikoüberwachung wird die Wirksamkeit und Effizienz des Risikomanagements beurteilt. Es wird überprüft, ob die definierten Maßnahmen zur Risikosteuerung den gewünschten Erfolg hatten.

Wie aus Abbildung 2-15 ersichtlich, handelt es sich bei dem Risikomanagementprozess um einen geschlossenen Kreislauf, d. h. der Managementprozess bestehend aus den Phasen Risikoidentifikation und -bewertung, Risikosteuerung sowie Risikoüberwachung wird nicht nur einmal, sondern mehrfach durchlaufen. [HiKW08]

Ein adäquates Risikomanagement für den Bereich der Endmontageplanung in der Automobilindustrie beinhaltet eindeutige Vorgaben und Abläufe zur zeitnahen Identifikation von potentiell ungünstigen Entwicklungen und eindeutige Richtlinien zum Umgang mit identifizierten Unzulänglichkeiten, die einen Handlungsbedarf verursachen. Gerade in den frühen Planungsphasen von Endmontagelinien besteht aber oftmals bezüglich der Identifizierung von möglichen Unzulänglichkeiten – verursacht durch eine hohe Anzahl von verschiedenen Produktvarianten – noch ein gewisses Verbesserungspotential.

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Risikoreduzierung in den frühen Phasen der Endmontageplanung leisten. Es wird jedoch nicht das Ziel verfolgt, einen umfassenden Risikomanagementansatz für den gesamten Bereich der Endmontageplanung im Automobilsektor zu entwickeln.

2.6.2 Risiken in den frühen Phasen der Endmontageplanung

Im Bereich der Endmontageplanung haben die üblichen Projektrisiken ihre Gültigkeit. Einerseits ist es vorstellbar, dass es während des „Montageprojektes" zu ungewollten zeitlichen Verzögerungen kommt, die den vordefinierten Endtermin – hier den Produktionsstart einer neuen Fahrzeugbaureihe – negativ beeinflussen, und andererseits ist es nicht auszuschließen, dass vorgesehene finanzielle Rahmenbedingungen nicht eingehalten werden – was in Bezug auf Fahrzeugprojekte letztlich bedeutet, dass weniger Geld mit der neuen Fahrzeugbaureihe verdient wird. Eine Verzögerung des Produktionsstarts hat oftmals negative wirtschaftliche Folgen für den Automobilhersteller. Generell besteht auch immer die Gefahr, dass das Projektergebnis nicht gänzlich den anfangs definierten Vorgaben entspricht. Dies kann auch den Bereich der Produktqualität tangieren, da mitunter die in der Endmontageplanung getätigte Prozess- und Ressourcewahl die Qualität der Fahrzeuge beeinflusst.

Ein weiteres generelles Risiko in einem Fahrzeugprojekt besteht darin, dass die festgelegten Randbedingungen für das Projekt nicht realistisch sind. Der Vertrieb versucht üblicherweise die Kundennachfrage im Vorfeld so gut wie möglich abzuschätzen, ein absolut zuverlässiges

Verfahren für diese Aufgabe gibt es allerdings nicht und wird es vermutlich auch nie geben. Der Markt bestimmt, ob und in welchem Ausmaß ein Fahrzeug akzeptiert und gekauft wird.

Bei der konkreten Betrachtung der frühen Phasen der Endmontageplanung in der Automobilindustrie fällt auf, dass Planungsexperten oftmals auf traditionelle Verfahren zurückgreifen und dass sie meist in absoluter Eigenverantwortung ihre Aufgaben erfüllen. Für Dritte hingegen ist es üblicherweise nicht ohne weiteres möglich den Planungsergebnissen zu folgen. In dieser Hinsicht gibt es einen gewissen Mangel an Transparenz, der auch nicht durch die derzeit im Einsatz befindlichen digitalen Planungstools aufgehoben wird. Dieser Sachverhalt kann durchaus als Unzulänglichkeit bzw. Risiko angesehen werden. Unterlaufen den Planern Fehler oder entscheidet sich ein Planer für suboptimale Lösungen, so werden diese wohl vorerst unentdeckt bleiben. Planungsfehler bzw. suboptimale Entscheidungen werden zwar mit hoher Wahrscheinlichkeit irgendwann im Laufe des fortschreitenden Planungsprozesses entdeckt, allerdings entspricht dies nicht einem proaktiven Vorgehen. In dem geschilderten Fall muss vielmehr mit zeit- und kostenintensiven planerischen Änderungsschleifen gerechnet werden – falls diese zu diesem Zeitpunkt überhaupt noch möglich bzw. aus wirtschaftlicher Sicht noch sinnvoll sind.

In Fahrzeugprojekten gibt es auch hinsichtlich der vorherrschenden Prozess- und Ressourcevarianz meist keine akzeptable Auflösungsmöglichkeit. Auch dies kann als Risiko eingestuft werden. Es ist oftmals unklar und mittels digitaler Planungstools nicht einfach zu ermitteln, wie hoch die Prozess- und Ressourcevarianz im Fahrzeugprojekt ist und welche Arten von Prozess- und Ressourcevarianten auftreten. Wenn überhaupt, dann hat meist nur der verantwortliche Planer für seinen beschränkten Planungsumfang diesbezüglich den Überblick. In den frühen Phasen wird der im Fahrzeugprojekt vorhandenen internen Montagevarianz – der Anzahl und Ausprägung der Prozess- und Ressourcevarianten – zu wenig Beachtung geschenkt. Maßnahmen zur Eindämmung der internen Montagevarianz werden mitunter nicht frühzeitig genug eingeleitet.

Ein weiteres Risiko besteht dahingehend, dass eine explizite Berücksichtigung von einzelnen, technisch sinnvollen Produktvarianten mitunter erst relativ spät im Planungsgeschehen erfolgt. Eine frühzeitige Überprüfung einzelner, als wichtig anzunehmender Produktvarianten nach montagetechnischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist teilweise noch nicht Bestandteil der frühen Planungsphasen. Auf diesen Punkt sowie auf die zuvor angesprochenen Punkte wird noch detailliert in Kapitel 4 eingegangen.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass es nicht beabsichtigt bzw. auch falsch wäre ein überaus negatives Bild von der derzeitigen Endmontageplanung in der Automobilindustrie zu zeichnen. Mittels der derzeitigen Herangehensweise an die Planungsaufgabe können durchaus wirtschaftliche Endmontagelinien geschaffen werden. Des Weiteren ist das Risiko des kompletten Scheiterns eines heutigen „Montageprojektes“ als gering anzusehen. Die Automobilbauer können üblicherweise auf einen großen Erfahrungsschatz zurückgreifen, der auch ausgiebig genutzt wird. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die Anzahl der Produktvarianten im Automobilbau immer stärker zunimmt und dadurch die Endmontageplanung merklich komplexer und fehleranfälliger wird. Dieser Sachverhalt ist zu berücksichtigen und traditionelle Planungsvorgehen müssen der veränderten Situation angepasst werden. Das Risiko von zeit- und kostenintensiven planerischen Änderungsschleifen gilt es zu reduzieren.

Neben den erwähnten Risiken im Bereich der Endmontageplanung gibt es ferner neue positive Entwicklungen, die zur allgemeinen Risikoreduzierung in Fahrzeugprojekten beitragen können. Durch die Wiederverwendung von bereits existierenden Ressourcen kann das Risiko von Fehlinvestitionen reduziert werden und durch die Berücksichtigung der Thematik der Volumenflexibilität sinkt das Risiko auf unerwartete Extremsituationen nach SOP nicht schnell und angemessen genug reagieren zu können.

3 Klassisches Vorgehen in der frühen Endmontageplanung

In den frühen Phasen der Endmontageplanung werden üblicherweise vier Planungsschritte absolviert. Nach einer meist teilebasierten Prozessplanung erfolgt eine Austaktung, der sich eine Ressourcebedarfsplanung und digitale Absicherungen anschließen. Im klassischen Fall werden die einzelnen Planungsschritte überwiegend sequentiell abgearbeitet. Teilweise kommt es zu zeit- und kostenintensiven Änderungsschleifen im Ablauf. Die vier erwähnten Planungsschritte werden in diesem Kapitel vorgestellt, wobei auch näher auf die Ausgangsdaten eingegangen wird.

3.1 Beispiel für einen klassischen Planungsablauf

Der klassische Planungsablauf beginnt üblicherweise mit der Prozessplanung. Im Rahmen der Prozessplanung werden zu jedem Bauteil die erforderlichen Montageprozesse definiert und eine Vielzahl an Attributen – z. B. Angaben zu geschätzten Montagezeiten, Arbeitspositionen und Arbeitshöhen am Fahrzeug etc. – vergeben. Der Prozessplanung schließt sich normalerweise die Austaktung an. Bei der Austaktung werden die definierten Prozesse Stationen zugewiesen, so dass sich über die durchschnittliche Teileverbauzeit für variantenbehaftete alternative Teile eine annehmbare durchschnittliche Taktzeit pro Station ergibt. Die Austaktung bestimmt letztlich die Anzahl der Stationen, den Personalbedarf und die Montagereihenfolge der Fahrzeugkomponenten bzw. -teile. Die Stations- und Montagereihenfolge wird als Eingangsinformation für die nachfolgende Ressourcebedarfsplanung und die digitalen Absicherungen benötigt. Eine detaillierte Betrachtung der Ressourcen erfolgt in enger Kopplung mit den digitalen Absicherungen, wobei eine grobe Ressourceauswahl auch schon frühzeitiger absolviert werden kann.

Digitale Zugänglichkeitsuntersuchungen und Ergonomiebetrachtungen werden normalerweise erst im Schritt der digitalen Absicherungen getätigt. Die digitalen Absicherungen berücksichtigen normalerweise konkrete Informationen zu einzelnen, technisch sinnvollen Produktvarianten und überprüfen, ob die auf Teilebasis definierten Prozesse sowie die ins Auge gefassten Ressourcen unter den vorherrschenden Bedingungen zweckmäßig sind. Bei unakzeptablen Ergebnissen müssen Änderungsschleifen durchlaufen werden, die mitunter zeit- und kostenintensiv sind. Die Anzahl der Produktvarianten, die im Rahmen von digitalen

Absicherungen mitsamt der zugehörigen Prozesse und Ressourcen berücksichtigt werden, ist aus Zeit- und Kostengründen begrenzt.

Der zuvor beschriebene Planungsablauf ist zur besseren Nachvollziehbarkeit nochmals in Abbildung 3-1 dargestellt, wobei dort auch die von der Produktentwicklung bzw. dem Vertrieb üblicherweise zur Verfügung gestellten Informationen grob ersichtlich sind.

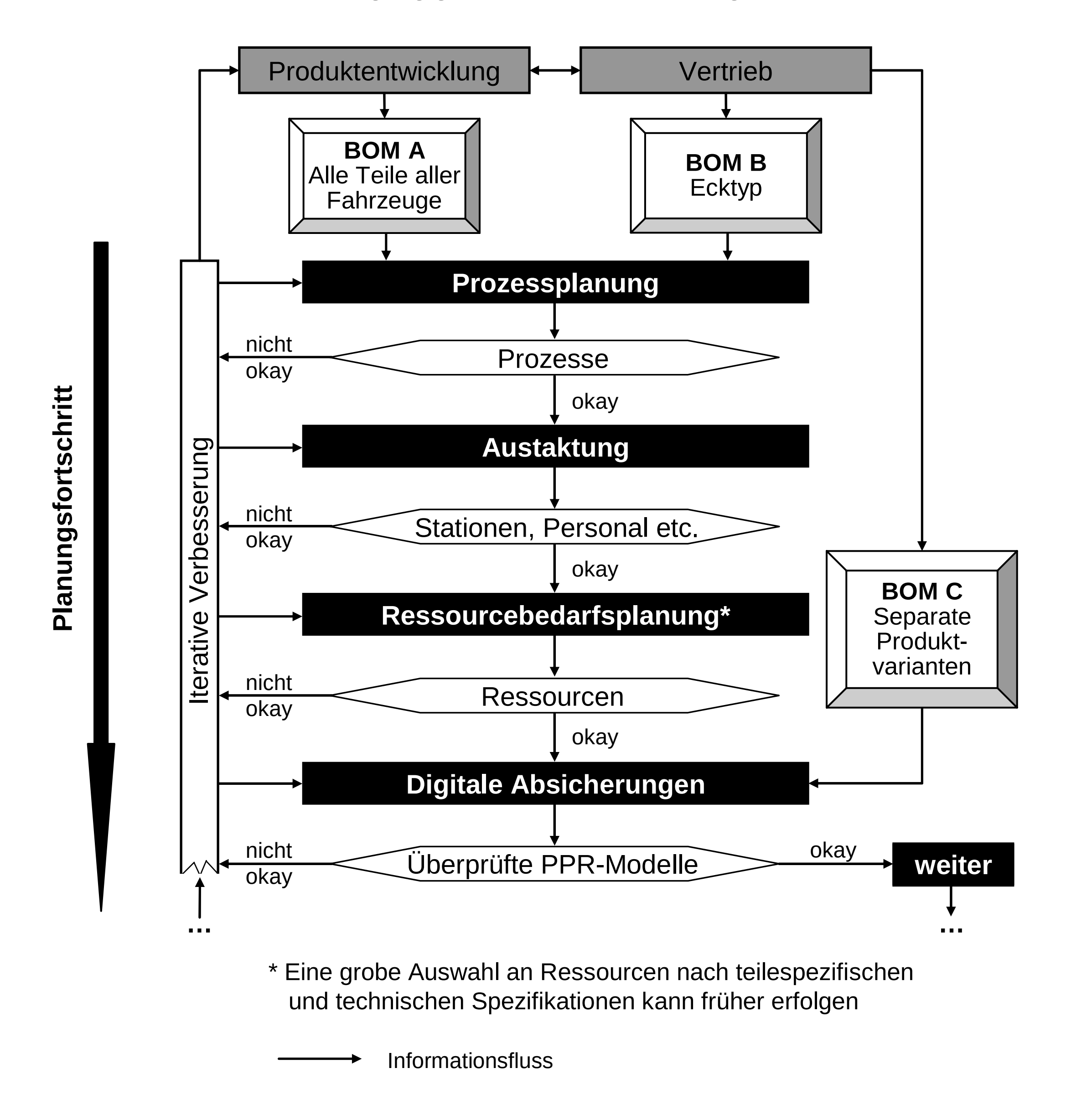


Abbildung 3-1: Beispiel für einen klassischen Planungsablauf (frühe Phasen)

Details zu den zur Verfügung stehenden Ausgangsdaten und zu den einzelnen Planungsschritten werden in den nächsten Abschnitten besprochen.

3.2 Details zu den Ausgangsdaten und zu den Planungsschritten

3.2.1 Ausgangsdaten

Am Anfang eines Fahrzeugprojektes wird den Montageplanern eine Vielzahl an Daten und Informationen zur Verfügung gestellt. Wie aus Abbildung 3-2 ersichtlich, erhalten die Planer Produktinformationen, Planungsprämissen und einen Zugriff auf Informationen der Vorgängermontagelinie. Sollte keine direkte Vorgängerbaureihe existieren, so werden üblicherweise ähnliche Montagelinien zur möglichen Begutachtung freigegeben. In manchen Fällen bietet es sich auch an sowohl die Vorgängermontagelinie als auch weitere Montagelinien, die vor kurzem realisiert wurden, zu betrachten.

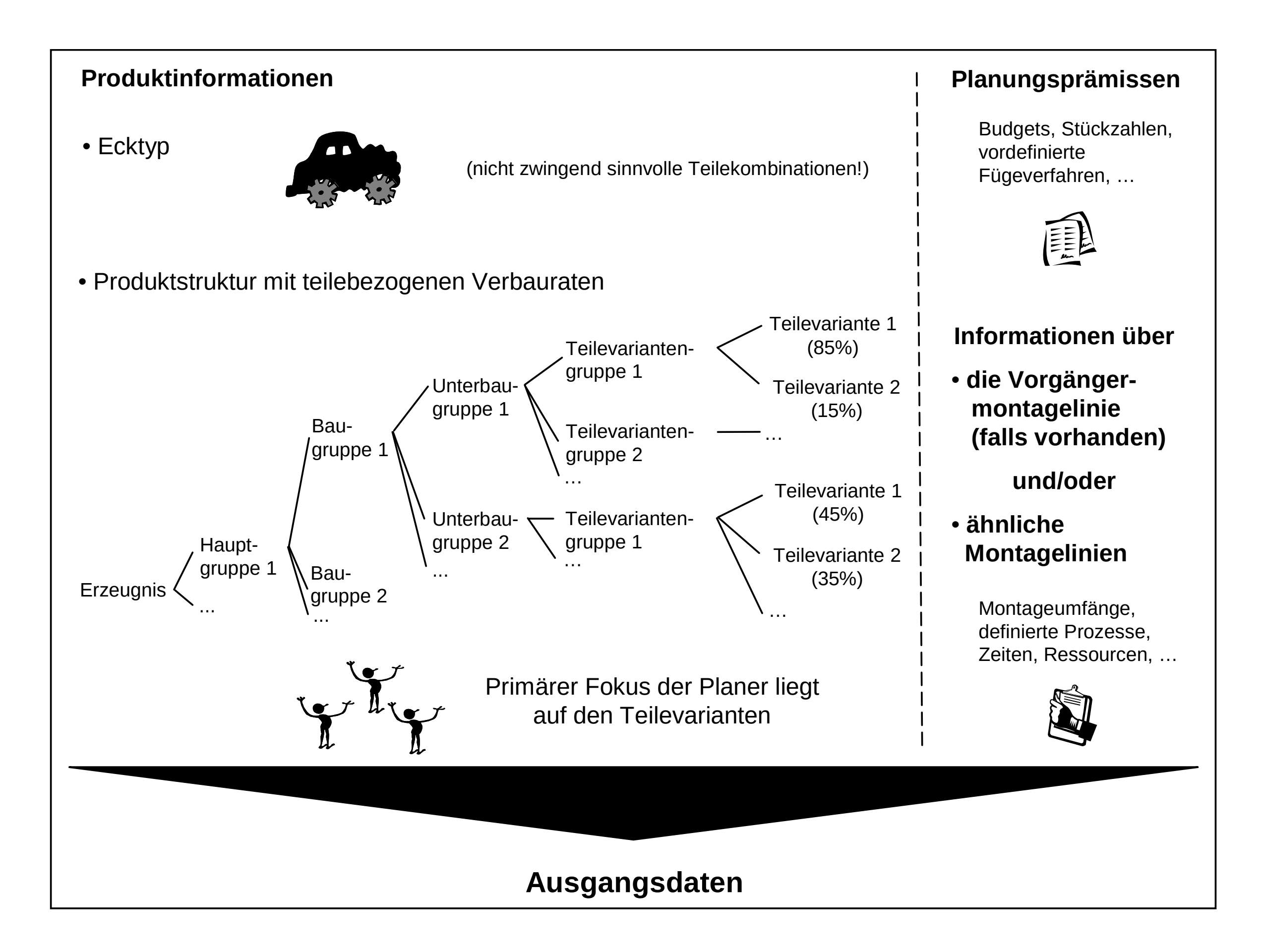


Abbildung 3-2: Beispiel für klassische Ausgangsdaten

Der digitale Planungsprozess wird üblicherweise mit mindestens einem so genannten Ecktyp gestartet. Der Ecktyp wird oftmals vom Vertrieb definiert, stellt aber nicht zwingend ein technisch sinnvolles Fahrzeug dar, welches später von einem Kunden geordert werden kann.

Dieses Fahrzeug wird explizit durchgeplant, um einerseits einen ersten Grobüberblick über die benötigte Montagelinie zu erlangen und andererseits auf Basis des Ecktyps erste Kostenkalkulationen durchführen zu können. Nach abgeschlossener Planung des Ecktyps werden alle bis dahin nicht betrachtete Teile bzw. Teilevarianten berücksichtigt und beplant. Es findet eine verteilte Endmontageplanung statt. Personen aus unterschiedlichen Planungsbereichen sind in das Fahrzeugprojekt involviert. Der klassische Ansatz, der sich in einem ersten Schritt auf einen Ecktyp stützt, ist primär auf die Auslegung von Solitärlinien zugeschnitten.

3.2.2 Prozessplanung

Im Rahmen der Prozessplanung müssen die Planer für ihren zugeordneten Teileumfang alle erforderlichen Montageprozesse zum Teileverbau bestimmen. Die Montageprozesse müssen in der digitalen Planungssoftware hinterlegt werden, eine detaillierte Prozessbeschreibung inklusive Attributvergabe muss erfolgen und letztlich müssen die erstellten Prozesse mit den entsprechenden Teilen bzw. Teilevarianten verknüpft werden, so dass eine eindeutige, verwertbare Zuordnung zwischen den produktseitigen und prozessseitigen Elementen gegeben ist. Eine abstrakte Darstellung, wie eine Verknüpfung zwischen Produkt- und Prozessdaten aussehen kann, wurde bereits in Abschnitt 2.4.3, Tabelle 2-2 aufgezeigt.

Von Planern werden hinsichtlich der Montageprozesse die erforderlichen Prozesszeiten geschätzt bzw. mittels einer MTM-Analyse ermittelt [Pick06, Rosc07] und Arbeitspositionen und Arbeitshöhen zu Verbauprozessen dokumentiert (vgl. Abbildung 3-3). Zudem werden üblicherweise Verbauraten übertragen und es erfolgt auch prozessseitig eine Vergabe von Codes. Ferner werden die Prozesse oftmals bereits Linienabschnitten zugeordnet.

Nach einer abgeschlossenen Prozessplanung – wenn allen Teilen bzw. Teilevarianten Prozesse zugewiesen sind – ist theoretisch eine Auflösung nach einzelnen Produktvarianten inklusive der zugehörigen Montageprozesse und deren Attribute möglich [Jani04], wobei eine gewünschte Auflösung üblicherweise manuell angestoßen werden muss.

Der Fokus der Planer richtet sich in frühen Phasen meist nur auf die vorhandene Dokumentation zu den Einzelteilen, und es findet oftmals eine rein alphanumerische Planung statt [Kief07, Müll07, Burr08]. Die Planer arbeiten eigenverantwortlich und werden normalerweise methodisch nicht explizit in Hinblick auf die Untersuchung einzelner, technisch sinnvoller

Produktvarianten unterstützt. Produktvariantenspezifische Verbausituationen und bauteilübergreifende Wechselwirkungen werden teilweise nicht ausreichend beachtet.

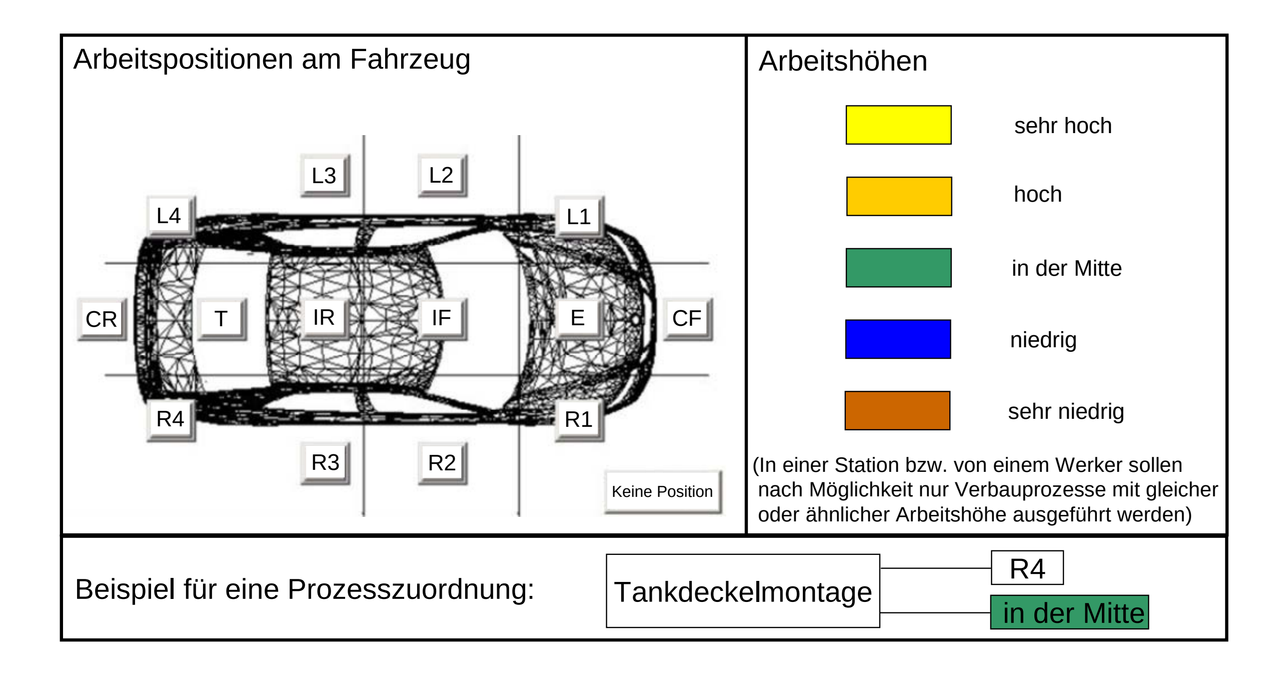


Abbildung 3-3: Arbeitspositionen und -höhen am Fahrzeug nach [Delm07a, Delm07b]

Des Weiteren findet oftmals auch noch eine Art Vorplanung außerhalb der digitalen Planungsumgebung statt [WeBl08a]. Erste planerische Überlegungen können teilweise einfacher und anschaulicher mit Stift und Papier oder MS Office Werkzeugen realisiert werden als mit zur Verfügung stehenden, komplexen digitalen Planungstools. Für Dritte stellt dieses Vorgehen aber zum Teil ein Problem dar – für sie ist es oftmals schwierig, den anschließend in den digitalen Planungstools dokumentierten Planungsergebnissen folgen zu können. Die Benutzerfreundlichkeit der digitalen PPR-Tools sowie deren Transparenz in Bezug auf Varianten sind noch verbesserungsfähig. In frühen Planungsphasen findet z. B. oftmals keine systematische Begutachtung der vorherrschenden Prozessvarianz statt.

3.2.3 Austaktung

Montagelinien werden in Stationen unterteilt, und diese müssen möglichst gleichmäßig ausgetaktet werden, damit sich vorgesehene Verkaufsmengen an Fahrzeugen über ein bestimmtes Zeitintervall realisieren lassen. Die zu erwartende Nachfrage nach Fahrzeugen bestimmt letztlich die Taktzeit der Linie bzw. Stationen [Rosc07]. Bei der Personalplanung im Rahmen der

Austaktung soll jedem Werker möglichst ein zeitlich gleiches Arbeitsvolumen zugeteilt werden [Leop97].

Bei der Austaktung werden die im Schritt der Prozessplanung erzeugten Prozesse auf Stationen aufgeteilt, so dass sich über die durchschnittliche Teileverbauzeit für variantenbehaftete alternative Teile eine annehmbare durchschnittliche Taktzeit pro Station ergibt. Die Betrachtung der durchschnittlichen Teileverbauzeit liefert – ähnlich wie bei anderen Verfahren – nur einen groben Anhaltswert hinsichtlich des tatsächlich erforderlichen Personalbedarfs und der Auslastung der Werker in den Stationen [Leop97]. Abbildung 3-4 zeigt an einem Beispiel, wie eine durchschnittliche Teileverbauzeit für die Montage zweier aus Prozesssicht unterschiedlicher alternativer Lenkräder aussehen würde. Die Lenkräder werden mit weiteren Teilen, die nicht variantenbehaftet sind, in einer Station verbaut.

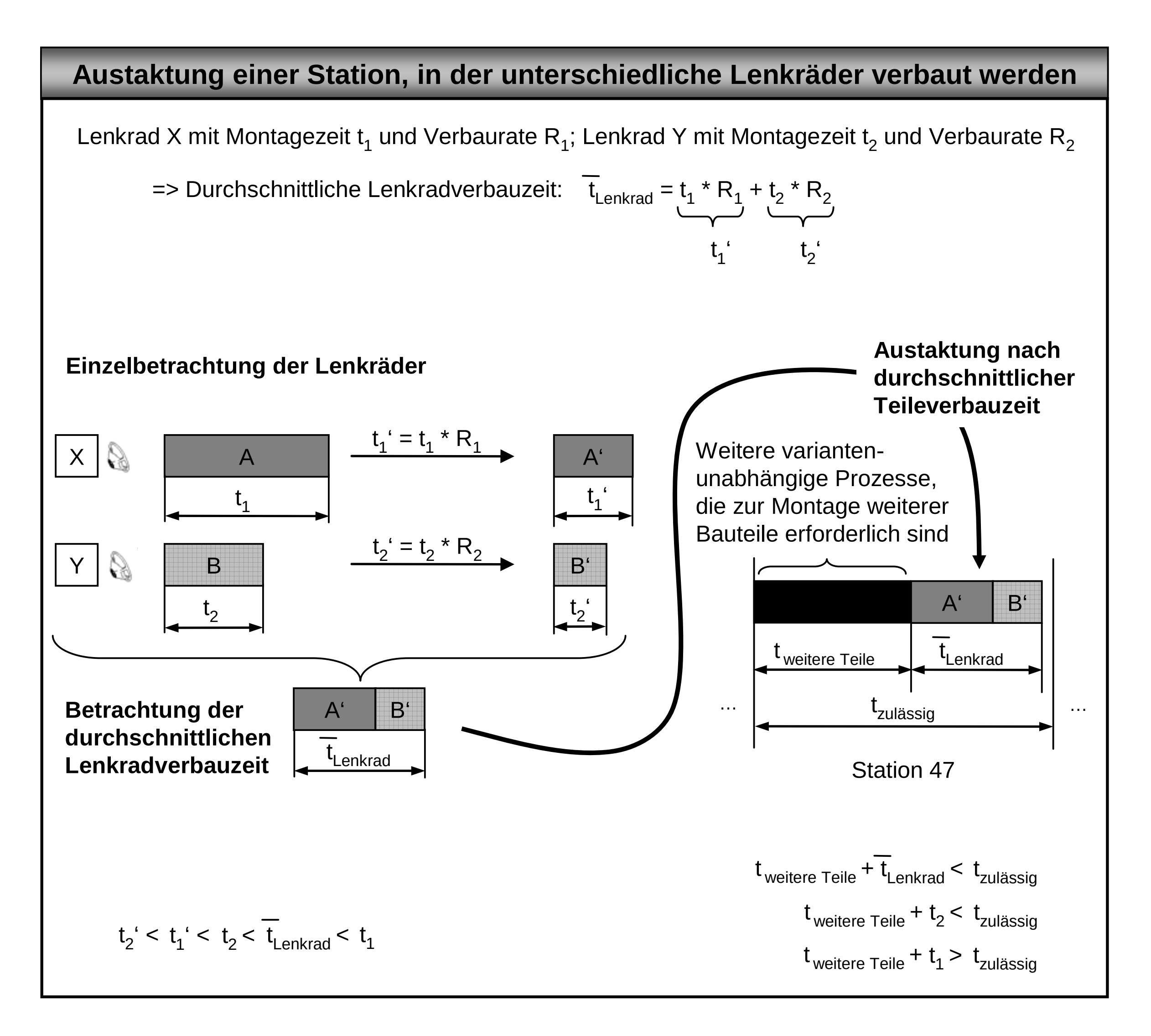


Abbildung 3-4: Beispiel zur Ermittlung der durchschnittlichen Teileverbauzeit

Im gezeigten Beispiel wird bei der durchschnittlichen Betrachtung der Lenkradmontage die zulässige Taktzeit $t_{zulässig}$ eingehalten. Dies hätte auch Gültigkeit, wenn Produktvarianten mit Lenkrad Y einzeln betrachtet würden. Allerdings wäre dann die Unterschreitung der zulässigen Taktzeit $t_{zulässig}$ noch deutlicher – es würde sich eine negative Abdrift ergeben, auch Taktausgleichsverlust genannt. Bei Produktvarianten, die mit Lenkrad X ausgestattet werden, würde hingegen die zulässige Taktzeit $t_{zulässig}$ überschritten. An dieser Stelle wird von einer positiven Abdrift gesprochen. Abbildung 3-5 verdeutlicht nochmals anschaulich, was unter einer negativen bzw. positiven Abdrift zu verstehen ist.

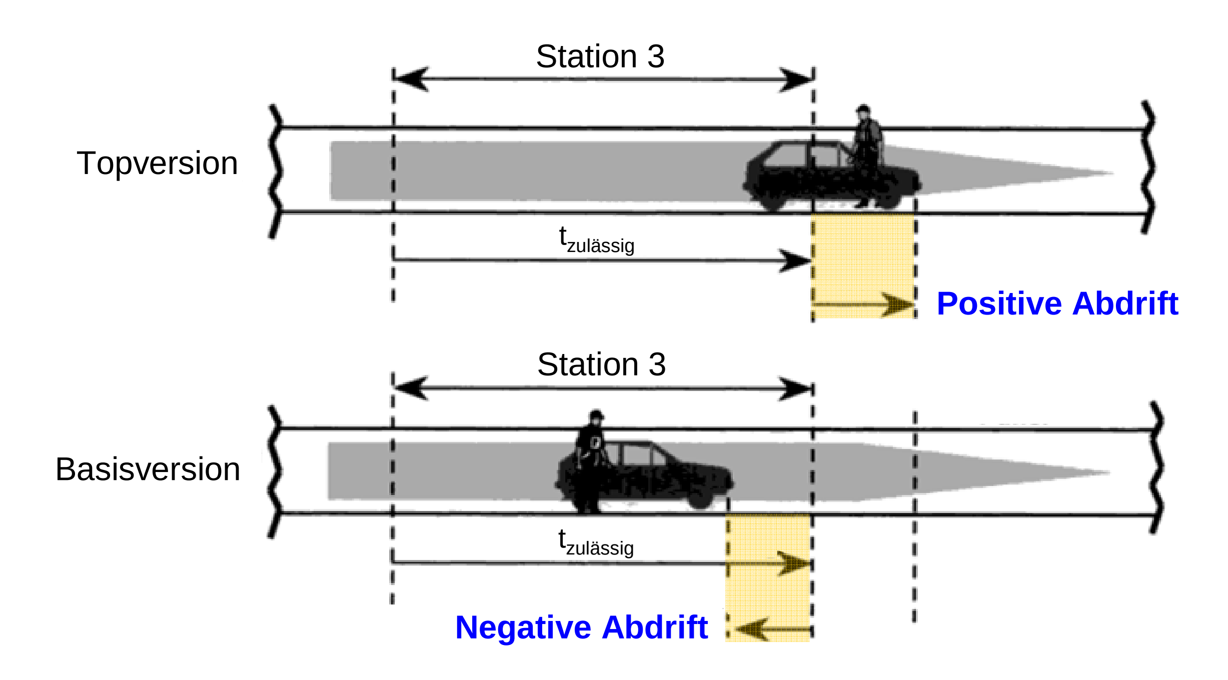


Abbildung 3-5: Taktzeitbeeinflussung durch Produktvarianten nach [EvAb03]

Die negative Abdrift gibt an, zu welchem Zeitanteil Mitarbeiter in einer Station keine Montagetätigkeiten ausführen. Eine hohe negative Abdrift, oftmals ausgelöst durch eine hohe Varianz der Montageprozesse, erfüllt nicht die Forderung nach einer hohen Auslastung der Mitarbeiter und senkt die Gesamteffizienz der Linie. [EvAb03, Rosc07]

Die positive Abdrift gibt an, zu welchem Zeitanteil Mitarbeiter in einer Station die zulässige Taktzeit überschreiten. Eine hohe positive Abdrift, oftmals ausgelöst durch eine hohe Varianz der Montageprozesse, belastet nicht nur den Mitarbeiter in der Station, sondern hat u. U. auch negative zeitliche Auswirkungen auf den Rest der Linie – Stationen mit zu hoher variantenabhängiger positiver Abdrift können „Flaschenhälse“ in den Linien darstellen, die die Effizienz der Montagelinie deutlich herabsetzen. [Groo07, WeBl08a]

Im Allgemeinen kann bzw. muss in gewissen Grenzen eine Abdrift in einzelnen Stationen akzeptiert werden, da eine Vielzahl an unterschiedlichen Produktvarianten mit differierenden Montageumfängen hergestellt werden muss. Ferner ist eine positive Abdrift mitunter auch durch Springer in der Praxis zu kompensieren [Leop97]. Nichtsdestotrotz ist eine starke Abdrift generell unvorteilhaft und sollte nach Möglichkeit stets vermieden werden.

Die Austaktung erfolgt oftmals bereits softwareunterstützt. Der Anteil der erforderlichen manuellen Tätigkeiten bis zur Erzielung eines annehmbaren Ergebnisses ist jedoch trotzdem hoch. Ferner erfolgt in den frühen Phasen oftmals keine detaillierte Abdriftbetrachtung für eine Vielzahl von technisch sinnvollen Produktvarianten. Vielmehr wird in den frühen Phasen, wie in Abbildung 3-5 gezeigt, häufig nur die Top- und Basisversion der Fahrzeuge für stationsbezogene Abdriftuntersuchungen herangezogen. Detaillierte Betrachtungen in Hinblick auf einzelne, technisch sinnvolle Produktvarianten finden oftmals erst in späteren Phasen statt, wenn sich ein realitätsnahes Produktionsprogramm abzeichnet.

Zur Durchführung der Austaktung werden als Eingangsinformationen Vorrangrestriktionen, die unter den zu verbauenden Teilen bzw. den angelegten Prozessen bestehen, benötigt. Wie bereits in Abschnitt 2.2.2 erläutert, kann hierfür prinzipiell der Vorranggraph erstellt werden. Allerdings findet der Vorranggraph nicht durchgängig eine Anwendung in der Praxis, da im Automobilbereich aufgrund der großen Teilevielfalt nicht ohne weiteres schnell und einfach ein Vorranggraph zu erstellen ist. Oftmals ist es so, dass die in den Planungsschritt der Austaktung involvierten Personen Vorrangbeziehungen berücksichtigen, diese allerdings nicht unbedingt im digitalen Umfeld hinterlegt sind. Auf diesem Gebiet besteht noch ein gewisses Verbesserungspotential.

Aus der Austaktung ergeben sich letztlich die erforderliche Anzahl an Stationen, der erforderliche Personalbedarf in der Linie und die Montagereihenfolge der Fahrzeugkomponenten bzw. -teile. Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass bei der Austaktung oftmals logistische Aspekte simultan mitberücksichtigt werden. Wurde eine Logistikplanung durchgeführt, die Ladungsträger definiert und diesen Teile bzw. Teilevarianten zuweist, so werden bei der Verteilung der Montageprozesse auf die Stationen für den Stationsbereich auch die zu berücksichtigenden Behältnisse zur Materialbereitstellung digital angezeigt. Aus Abbildung 3-6 wird ersichtlich, wie sich der beschriebene Sachverhalt im digitalen Umfeld darstellt.

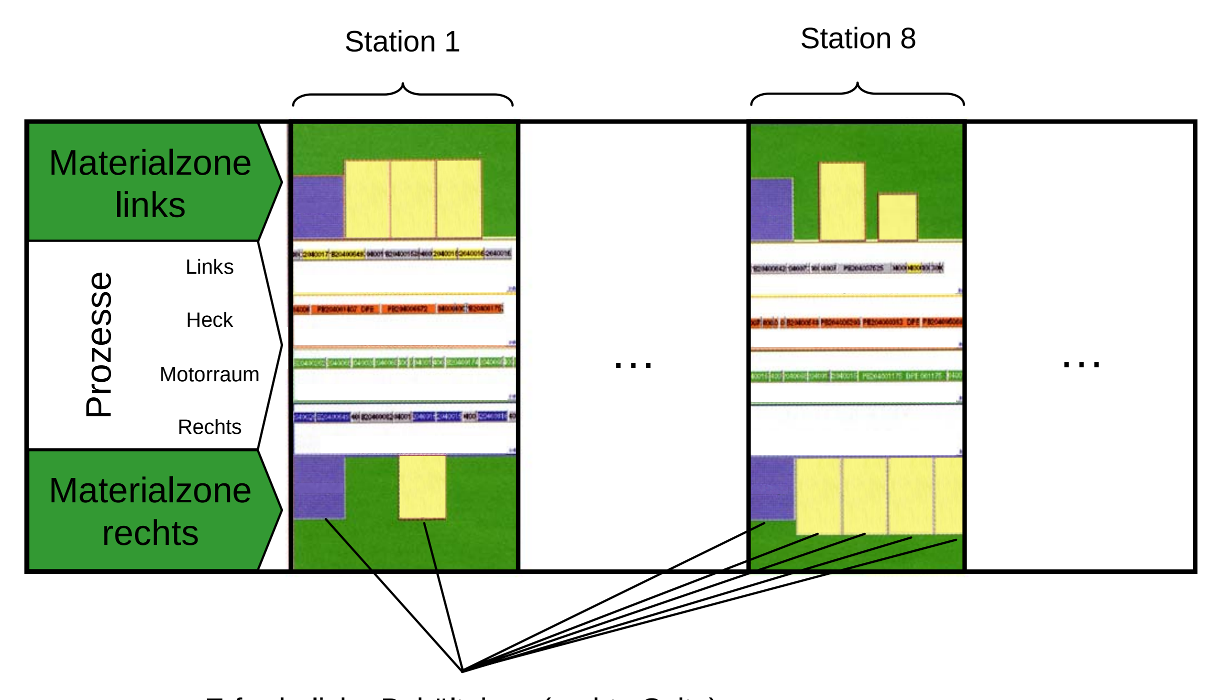


Abbildung 3-6: Integrierte Montage- und Logistikplanung nach [VoKH06, Delm07b]

Moderne digitale Austaktungstools visualisieren die Anordnung der erforderlichen Behältnisse in den Materialzonen der Linien und stellen mitunter auch eine adäquate Grundlage zur detaillierten Layout- sowie Materialflussplanung dar [Schn08]. Aufgrund der Berücksichtigung der lokalen Materialbereitstellung in den Stationen kann im Übrigen eine Präzisierung der erforderlichen Zeiten für die Teileentnahme erfolgen. Die Behälterdimensionierung erfolgt unter Beachtung der den Teilen zugeordneten Verbauraten und deren Abmessungen [BoSG07].

In Abbildung 3-7 ist gezeigt, welche Wege ein Werker üblicherweise bei einer Fließmontage in der Automobilindustrie zurücklegen muss, wenn er kontinuierlich ein nicht variantenbehaftetes Teil aus einem Behältnis nehmen und am Fahrzeug verbauen muss. Bei variantenbehafteten Teilen, die u. U. auch unterschiedliche Montagezeiten benötigen, bzw. bei Produktvarianten, die die Montage zusätzlicher Teile bedingen, werden die vom Werker zurückzulegenden Wegstrecken komplizierter. Daher macht es Sinn die Wegstrecken zu begutachten und diese nach Möglichkeit über die Standortwahl der Behältnisse bzw. deren Dimensionen zu minimieren [Maun02].

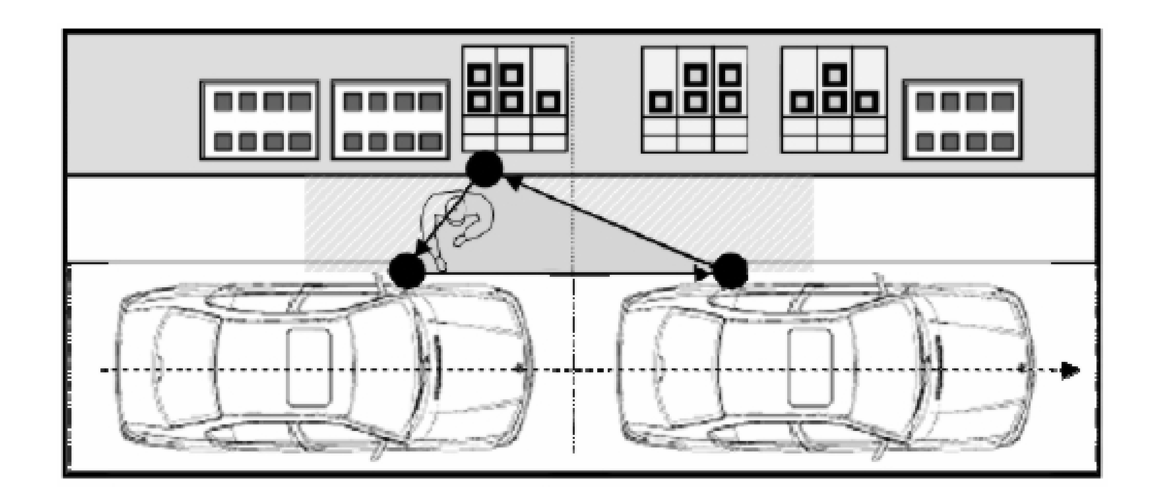


Abbildung 3-7: Bewegungsraum eines Werkers in der Endmontagelinie nach [BoSG07]

3.2.4 Ressourcegrobauswahl, Ressourcebedarfsplanung und Absicherungen

Im Gegensatz zur Rohbauplanung wird den Ressourcen in der Endmontageplanung anfangs nicht so viel Beachtung geschenkt. Zwar erfolgt in einigen Unternehmen schon recht früh eine so genannte Ressourcegrobauswahl – teilweise parallel zur Prozessplanung –, eine erste praxisnahe Ressourcebedarfsplanung kann jedoch erst nach der Austaktung erfolgen [ScSe02, VoKH06]. Die Austaktung legt fest, welche Montageprozesse in welcher Station durchgeführt werden und bestimmt, welche Ressourcen in welcher Anzahl pro Station erforderlich sind. Erst nachdem die Stations- und Montagereihenfolge feststeht, kann folglich eine detaillierte Ressourcebetrachtung stattfinden. Mittels so genannter Absicherungen wird letztlich evaluiert, ob die in Betracht gezogenen Ressourcen tatsächlich für die real vorherrschende Montagesituation zutreffend sind.

Die anfängliche Grobauswahl an Ressourcen erfolgt oftmals rein aufgrund von Einzelteilbetrachtungen und ersten hinlänglichen technischen Spezifikationen in Bezug auf durchzuführende Fügeoperationen, die mitunter aus der Prozessbeschreibung hervorgehen. Über die Ressourcegrobauswahl lässt sich eigentlich lediglich ableiten, welche Arten von Montage- und Prüfequipment voraussichtlich benötigt werden. Erst nachdem durch die Austaktung die Stationsfolge und der prinzipielle Bedarf an Ressourcen pro Station vorliegt, kann, wie zuvor beschrieben, mit detaillierten Ressourcebetrachtungen begonnen werden. Im Rahmen der so genannten Absicherungen werden dann variantenspezifische Verbausituationen überprüft – d. h. für einzelne, technisch sinnvolle Produktvarianten werden die Prozess- und Ressource-

definitionen in Hinblick auf die feststehende Montagereihenfolge und die sich daraus ergebenden Verbauräume kontrolliert. Die Kapazität der Arbeitsmittel wird in diesem Zusammenhang ebenfalls überprüft [Fusc04]. An dieser Stelle werden ferner auch ergonomische Aspekte berücksichtigt.

Bei unakzeptablen Ergebnissen gibt es generell eine Reihe an Möglichkeiten zur Nachbesserung. Änderungen an der Ressource, dem Prozess oder gar dem Produkt können erfolgen [BlWe08]. Ferner kann auch eine Veränderung der Montagereihenfolge in Betracht gezogen werden. Sind Änderungen aus technischer oder wirtschaftlicher Sicht erforderlich, so kann dies zu zeit- und kostenintensiven Änderungsschleifen führen. Wie in Abschnitt 2.6.2 erörtert, stellt dieser Sachverhalt ein Risiko für den Automobilhersteller dar, welches nach Möglichkeit minimiert werden sollte. In dieser Hinsicht besteht noch ein Verbesserungspotential.

In Bezug auf die erwähnten Absicherungen muss prinzipiell zwischen realen und digitalen Absicherungen unterschieden werden (vgl. Abbildung 3-8). Die Anzahl der realen Prototypen ist in den letzten Jahren jedoch stark rückläufig [Müll07]. Die digitalen Absicherungen ersetzen die realen Prototypen zunehmend. Es ist aber unwahrscheinlich, dass eine zukünftige Produktentwicklung gänzlich ohne einen realen Prototypenbau auskommen wird.

Die Anzahl der durchführbaren Absicherungen ist in Bezug auf das Gesamtspektrum an möglichen Fahrzeugkonfigurationen bzw. Ausstattungskombinationen, die vom Kunden bestellt werden können, überschaubar (vgl. Abbildung 3-8). Der zeitliche und personelle Aufwand für eine einhundertprozentige Absicherung jeglicher Fahrzeugvarianten wäre nicht realisierbar und unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten auch keineswegs zu vertreten. Vielmehr muss an dieser Stelle die Frage gestellt werden, welche Produktvarianten tatsächlich explizit abzusichern sind. In diesem Bereich greifen die verantwortlichen Personen oftmals erneut auf ihr Erfahrungswissen zurück. Ferner ist es zuweilen auch so, dass digitale Überprüfungen erst dann veranlasst werden, wenn bei den Planungsexperten bezüglich der Montagesituation Zweifel aufkommen. Es sei an dieser Stelle auch noch darauf hingewiesen, dass unterschiedliche Abteilungen oftmals unterschiedliche Möglichkeiten für eine digitale Absicherung besitzen. In Hinblick auf diese Thematik ist es nicht einfach sich für die effizienteste digitale Absicherungsmethode zu entscheiden [WBKM08].

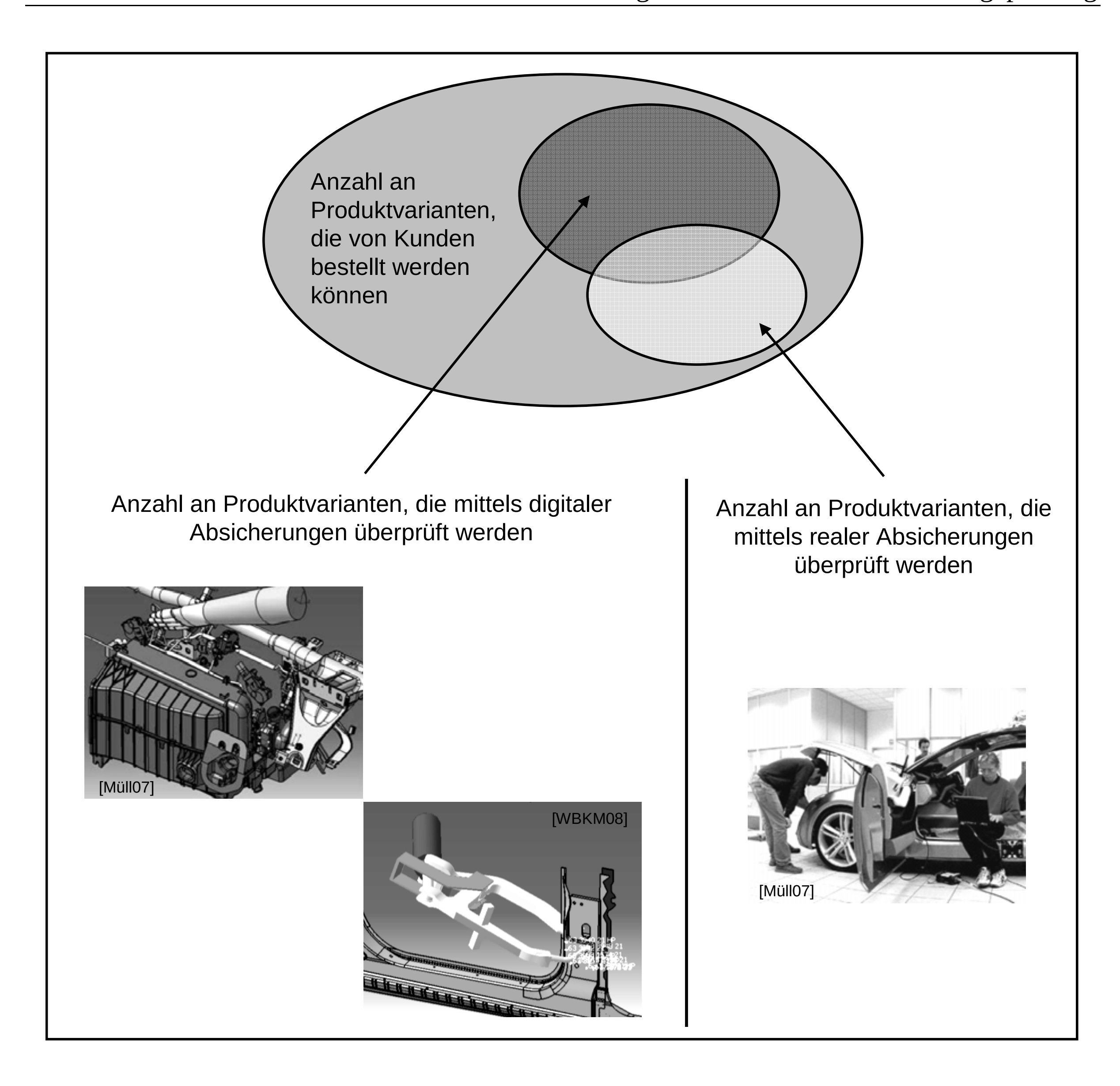


Abbildung 3-8: Reale und digitale Absicherungen nach [Müll07, WeBl08a, WBKM08]

Zu den digitalen Absicherungen ist noch anzumerken, dass diese sich im Bereich der Endmontageplanung meistens nur auf einfache Zugänglichkeitsuntersuchungen beschränken. Simulationsmodelle, die eine Vielzahl von Prozess- und Ressourceparametern detailliert berücksichtigen, sind generell nicht allzu oft in der Industrie vertreten [BlWe08]. Auch [Müll07] bescheinigt, dass im Bereich der Endmontageplanung der geometrieorientierte Einsatz von Absicherungen noch nicht auf breiter Front durchgängig erfolgt. Allerdings steht außer Zweifel, dass die derzeit im Einsatz befindlichen digitalen Absicherungen bereits zu einer deutlichen Beschleunigung und qualitativen Verbesserung der Endmontageplanung im Bereich der Automobilindustrie beitragen.

4 Präzisierung des Handlungsbedarfes

Wie bereits teilweise in vorangegangenen Kapiteln angemerkt, besteht in der Automobilindustrie im Bereich der Endmontageplanung sowohl ein methodischer als auch operativer Handlungsbedarf. In diesem Kapitel werden kritische Sachverhalte präzisiert und zusammengefasst.

4.1 Methodischer Handlungsbedarf

In den frühen Phasen der Endmontageplanung erfolgt die Grundauslegung der Montagelinie. Bereits in diesem Planungsabschnitt sollten Mechanismen etabliert werden, die dabei helfen, suboptimale Lösungen eindeutig und objektiv zu identifizieren. Wie bereits in Abschnitt 2.6.2 erörtert, ist der derzeitige Mangel an Planungstransparenz und die oftmals zu spät erfolgende methodische Variantenauflösung ein Defizit, welches letztlich ein Risiko hinsichtlich der Einhaltung des vorgesehenen Produktionsstarts und der wirtschaftlichen Rentabilität einzelner Produktvarianten bzw. im ungünstigsten Fall der gesamten Produktion birgt. Zumindest für einzelne, als wichtig einzustufende Produktvarianten sollte zukünftig eine explizite und nachvollziehbare Planung erfolgen, die eine zeitnahe Überprüfung der erarbeiteten Ergebnisse zulässt. Generell sollten allgemeine sowie variantenspezifische technische als auch wirtschaftliche Überprüfungen so früh wie möglich und bestenfalls kombiniert stattfinden.

Planungsunzulänglichkeiten, die erst verspätet entdeckt und zu deren Behebung Maßnahmen nachträglich eingeleitet werden, können prinzipiell zu überaus zeit- und kostenintensiven Änderungsschleifen führen. Hinsichtlich der heutigen Planungsabläufe ist nicht einhundertprozentig sichergestellt, dass suboptimale Lösungen in frühen Planungsphasen aufgedeckt werden. Eine primär teileorientierte Planungsmethodik birgt Risiken.

Die alleinige Verantwortung für die Erstellung korrekter technischer Spezifikationen zum Verbau von Fahrzeugkomponenten lastet heutzutage ausschließlich auf den zuständigen Planern, die mehr oder weniger autonom ihre Aufgaben absolvieren, indem sie primär auf ihr Erfahrungswissen zurückgreifen. Unter der Annahme, dass zukünftig die Zahl der Produkt- bzw. Teilevarianten weiter steigt und gänzlich neue Optionen den Kunden angeboten werden, ist davon auszugehen, dass sich unter den momentan vorherrschenden Bedingungen das

Risiko in Hinblick auf zeit- und kostenintensive Änderungsschleifen im Planungsprozess zusätzlich erhöhen wird.

Es stellt sich die Frage, ob sich durch einen neuen Planungsansatz das schon mehrfach erwähnte, heute existente Planungsrisiko hinsichtlich womöglich erforderlich werdender zeit- und kostenintensiver Änderungsschleifen reduzieren lässt. Ferner muss berücksichtigt werden, dass gewissen Aspekten heutzutage oftmals zu wenig Aufmerksamkeit im unmittelbaren Planungsprozess geschenkt wird. Die Thematik der Wiederverwendung von Ressourcen sowie die Thematik der Volumenflexibilität von Endmontagelinien können an dieser Stelle erwähnt werden.

Eine Handhabung der Wiederverwendungsthematik rein über Restriktionen, die im Vorfeld festgelegt werden und anschließend von den Planern einzuhalten sind, ist nicht die einzige Möglichkeit, um eine Mehrfachnutzung von Equipment sicherzustellen. Zur Thematik der Volumenflexibilität ist anzumerken, dass es hier neuer Ansätze bedarf, um zeitnah Volumenanpassungen von Endmontagelinien realisieren zu können. Eine erfolgreiche Realisierung einer kurzfristigen Volumenanpassung ist nur dann zuverlässig möglich, wenn dieses Szenario auf planungstechnischer Ebene mitbedacht wurde. Derzeit gängige Möglichkeiten für mittel- und langfristige Volumenanpassungen werden dadurch kaum tangiert.

Tabelle 4-1 fasst den identifizierten methodischen Handlungsbedarf zusammen. Viele der dort aufgeführten Punkte tragen zu einem erhöhten Risiko in Hinblick auf womöglich erforderlich werdende zeit- und kostenintensive Änderungsschleifen im Planungsprozess bei. Aus einem anderen Blickwinkel heraus betrachtet, kann jedoch bei einer Berücksichtigung und methodisch versierten Herangehensweise an diese Punkte das zuvor erwähnte und derzeitig bestehende Risiko in den frühen Phasen der Endmontageplanung reduziert und die Planungsqualität im Planungsprozess verbessert werden. Hinsichtlich der Thematik der Wiederverwendung von Ressourcen und der Thematik der Volumenflexibilität ergeben sich für Automobilhersteller ferner ganz neue Möglichkeiten, um die Wirtschaftlichkeit ihrer Montagelinien zu verbessern. Dies wurde bereits in Abschnitt 2.5 angedeutet.

Methodischer Handlungsbedarf
• Teilweise keine frühzeitige Betrachtung und Bewertung einzelner Produktvarianten, die als technisch sinnvoll einzustufen sind • Oftmals keine systematische Auswertung der vorherrschenden Prozess- und Ressourcevarianz • Häufig kein angemessener Umgang mit der Thematik der Wiederverwendung von Ressourcen • Überwiegend kein angemessener Umgang mit der Thematik der kurzfristig realisierbaren Volumenanpassung von Endmontagelinien • Oftmals Defizite hinsichtlich kombiniert stattfindender technischer und wirtschaftlicher Betrachtungen

Tabelle 4-1: Methodischer Handlungsbedarf in der frühen Endmontageplanung

4.2 Operativer Handlungsbedarf

Bei all der Diskussion um den methodischen Handlungsbedarf und methodische Veränderungen darf der einzelne Planer, der evtl. von einer veränderten Situation im Planungsablauf betroffen ist, nicht vergessen werden. Es ist prinzipiell bekannt, dass eine erfolgreiche Umsetzung einer Methodik maßgeblich davon abhängt, ob die involvierten Personen das Konzept akzeptieren und dieses auch tatsächlich anwenden. Ein grundsätzlich sinnvolles Konzept, zu dem aus der Anwendersicht eine gewöhnungsbedürftige und benutzerunfreundliche softwaretechnische Umsetzung existiert, wird in der Praxis mit hoher Wahrscheinlichkeit scheitern. Folglich muss bei der Konzeptentwicklung auch den operativen Aspekten eine besondere Beachtung geschenkt werden.

Wird die derzeitige softwaretechnische Unterstützung in den frühen Phasen der Endmontageplanung betrachtet, so ist diese teilweise als unbefriedigend einzustufen. Wie bereits in Abschnitt 2.3.1 erwähnt, gibt es generell in einigen Bereichen der Digitalen Fabrik Planungstools, die sich nicht durch eine überaus hohe Benutzerfreundlichkeit und ein gutes Aufwand-

Nutzen-Verhältnis auszeichnen. Dort besteht ein akutes Risiko, dass sich die Anwender nicht wirklich mit der Softwarelösung anfreunden und diese folglich nicht effizient einsetzen.

In den frühen Planungsphasen nutzen die Endmontageplaner teilweise keine digitalen Planungstools. Oftmals ist es tatsächlich so, dass erste planerische Überlegungen hinsichtlich erforderlicher Montageprozesse bzw. benötigter Ressourcen einfacher und anschaulicher mit Stift und Papier oder MS Office Werkzeugen realisiert werden können als mit den derzeit auf dem Markt befindlichen digitalen PPR-Planungstools, die teilweise komplex und intransparent sind. Mitunter finden erste Planungsschritte nicht immer mit speziellen Softwarewerkzeugen statt.

Bei der Nutzung der heutigen digitalen PPR-Tools muss zudem bedacht werden, dass zur Dateneingabe bzw. -ausgabe bisweilen ein nicht zu vernachlässigender Aufwand vom Anwender erbracht werden muss und dieser aufgrund der Vielzahl der systemseitig erforderlichen Operationen kurzzeitig den Überblick verlieren kann. Für Dritte ist es zudem generell schwierig, den in den digitalen PPR-Tools dokumentierten Planungsergebnissen schnell bis ins Detail folgen zu können. Die Benutzerfreundlichkeit der derzeitigen digitalen PPR-Tools sowie deren Transparenz sollten verbessert werden. Die Planer sollten in einem digitalen Umfeld intuitiv und effizient arbeiten können. Für die Zukunft werden einfache, anschauliche, leicht erlern- und bedienbare PPR-Tools benötigt.

Des Weiteren kann auch darüber nachgedacht werden, wie sich Routinetätigkeiten im digitalen Umfeld vereinfachen lassen. Von Ansätzen, die systemseitig eine automatische Zuordnung von Prozessen bzw. Ressourcen zu Bauteilen anstreben, wird aber abgeraten. Systemseitig könnten womöglich wissensbasierte Vorschläge zu Prozessen oder Ressourcen erfolgen; die Kompetenz sowie die Verantwortung in Bezug auf die Planungsaufgabe sollten jedoch weiter bei den ausführenden Planern liegen.

Die derzeit stattfindenden Aktivitäten hinsichtlich automatischer Auswertungsmöglichkeiten sollten weiter forciert werden. Zeitintensive Tätigkeiten, die von den Planern im System zum manuellen Auslesen von zuvor hinterlegten Daten benötigt werden, sollten so weit wie möglich reduziert werden. Tabelle 4-2 fasst die wichtigsten Punkte in Bezug auf den derzeitigen operativen Handlungsbedarf zusammen.

Operativer Handlungsbedarf
• Oftmals keine ausreichende Transparenz in der digitalen Umgebung für die ausführenden Planer sowie für Dritte
• Teilweise keine einfache, intuitive Bedienbarkeit und partiell ein nicht akzeptables Aufwand-Nutzen-Verhältnis der Tools
• Zu geringe Unterstützung und Entlastung der Planer durch automatische Auswertungsmöglichkeiten

Tabelle 4-2: Operativer Handlungsbedarf in der frühen Endmontageplanung

Laut der in Tabelle 4-2 aufgeführten Punkte verbirgt sich also auch auf der operativen Ebene ein Risiko, dass es zu ungewollten zeitlichen Verzögerungen und unentdeckten suboptimalen Lösungen aufgrund einer unbefriedigenden Transparenz, unzulänglichen Benutzerfreundlichkeit und unzureichenden Unterstützung der Anwender im digitalen Umfeld kommen kann. Aus einem anderen Blickwinkel heraus betrachtet, ergeben sich durch die Beseitigung der derzeit existierenden operativen Unzulänglichkeiten aber erneut vielversprechende Möglichkeiten. So wäre es durchaus vorstellbar, dass Anwender bereit sind einen methodischen Mehraufwand, der aus Änderungen am Planungsablauf resultiert, in Kauf zu nehmen, da sie auf der operativen Ebene durch Neuerungen merklich entlastet werden. Es besteht folglich die Möglichkeit, methodischen Mehraufwand durch operative Verbesserungen im digitalen Umfeld zu kompensieren.

5 Planungsansatz zur Risikoreduzierung

Aufgrund des im vorangegangenen Kapitel festgestellten Handlungsbedarfes müssen Überlegungen stattfinden, inwiefern sich der in Abschnitt 3.1 gezeigte Planungsablauf dahingehend modifizieren lässt, dass das Risiko von zeit- und kostenintensiven Änderungsschleifen, die wegen einer verspäteten Identifikation von suboptimalen Lösungen auftreten können, reduzierbar ist. Zudem gilt es neuen Aspekten – wie z. B. der Wiederverwendung von Ressourcen und der Thematik der Volumenflexibilität – eine frühzeitige Beachtung im Planungsgeschehen zu schenken. Ein komplettes Verwerfen der bisherigen Herangehensweise an die Planungsaufgabe wird dabei jedoch als unzweckmäßig und unpraktikabel angesehen.

5.1 Genereller Planungsablauf

Eine Änderung des Planungsablaufes ist auch oftmals mit einer Änderung der Ausgangsdaten verbunden. In dieser Arbeit wird die anfängliche Ecktypplanung durch eine Planung von wenigen, als wichtig angesehenen Produktvarianten, die zudem als technisch sinnvoll einzustufen sind, substituiert. Diese Produktvarianten werden explizit geplant und untereinander nach technischen und wirtschaftlichen Aspekten verglichen, so dass frühzeitig und mit Bezug zu den einzelnen Produktvarianten realitätsnahe Aussagen zur Eignung der gewählten Montageprozesse und Ressourcen vorliegen. In diesem Zusammenhang ergibt sich auch eine Möglichkeit zur präziseren Abschätzung der erforderlichen Montagelinie.

Die Planungsschritte Prozessplanung, Austaktung, Ressourcebedarfsplanung und digitale Absicherungen werden beibehalten. Der Ablauf in den einzelnen Planungsschritten wird jedoch durch die veränderten Ausgangsdaten und erweiterte Betrachtungen tangiert und ferner werden in einigen Bereichen operative Verbesserungen angestrebt. Die Prozess- und Ressourceplanung wird durch die Einführung von digitalen Graphen für die Planung und den Vergleich der als wichtig deklarierten Produktvarianten optimiert. Im Bereich der Austaktung sowie der digitalen Absicherungen finden hingegen nur geringe Änderungen statt.

Zur Berücksichtigung der Thematik der Wiederverwendung von Ressourcen sowie der Thematik der Volumenflexibilität von Endmontagelinien wird der klassische Planungsablauf um die folgenden drei Planungsschritte ergänzt: den Schritt der Ressourceabschätzung, den

Schritt der Wiederverwendungsplanung sowie den Schritt der Volumenflexibilitätsbetrachtung. Diese drei Schritte müssen sinnvoll mit den übrigen Schritten aus dem klassischen Planungsablauf kombiniert werden. Abbildung 5-1 zeigt, wie dies im Rahmen der vorliegenden Arbeit angedacht ist.

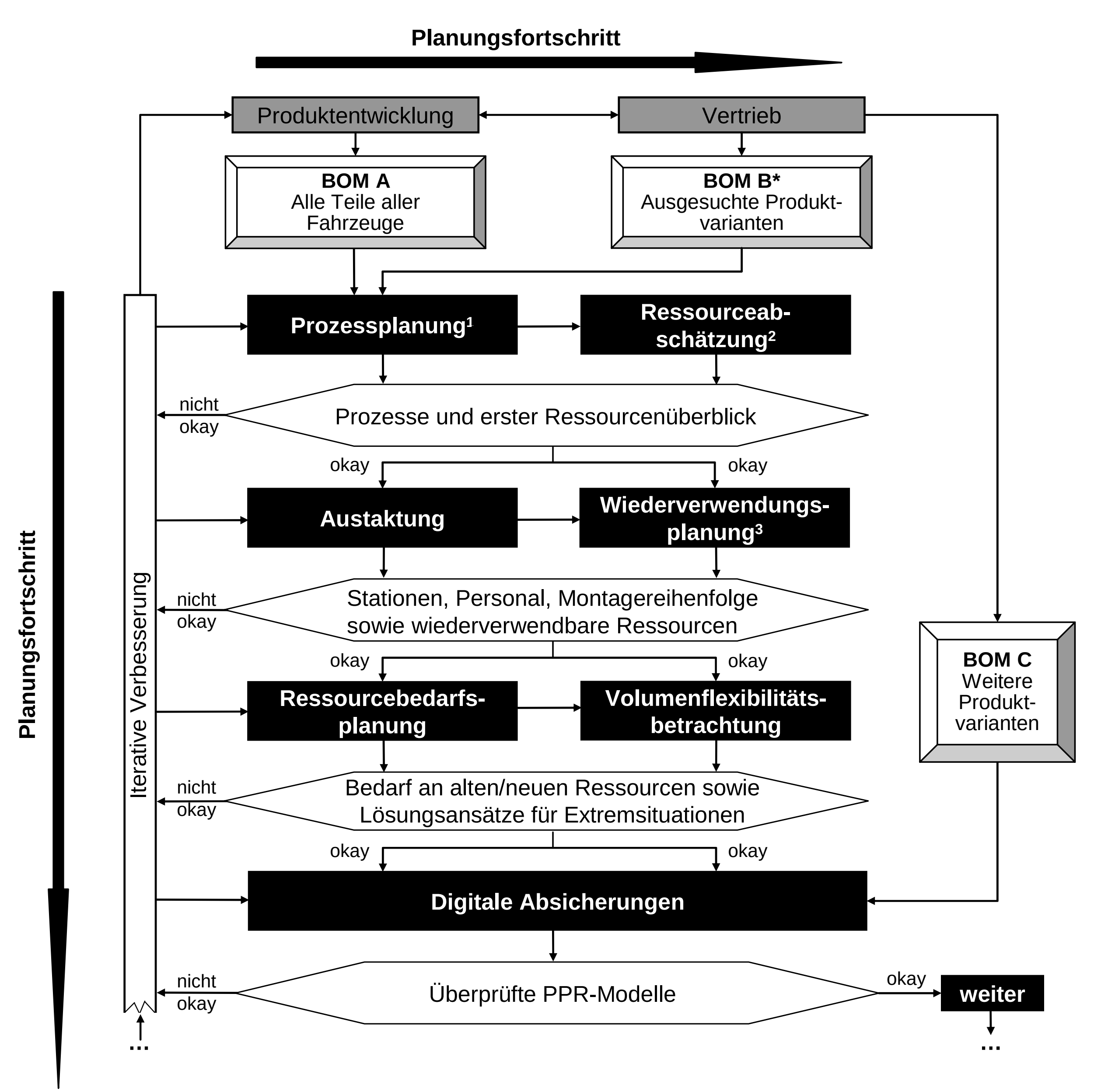


Abbildung 5-1: Neuer Planungsansatz für die frühe Endmontageplanung

Bei dem dargestellten Ablauf aus Abbildung 5-1 erfolgt eine erste Ressourceabschätzung parallel bzw. unwesentlich zeitlich versetzt zur Prozessplanung. Bei der Ressourceabschätzung werden den Prozessen, die eine Ressource benötigen, Arbeitsmittel zugewiesen. Die Ressourceabschätzung stellt den Ausgangspunkt für die Wiederverwendungsplanung dar. Die Wiederverwendungsplanung findet in etwa parallel zur Austaktung statt, so dass zur Ressourcebedarfsplanung sowohl die Stations- bzw. Montagereihenfolge als auch Angaben zu vermutlich wiederverwendbaren bzw. neu zu beziehenden Ressourcen vorliegen. Die Ressourcebedarfsplanung kann prinzipiell stationsweise durchgeführt werden, wodurch sich die Möglichkeit ergibt, zeitnah – ebenfalls stationsweise – eine Volumenflexibilitätsbetrachtung auszuführen. Zur Erzielung einer Volumenflexibilität muss in jeder Station eine Möglichkeit zur Volumenanpassung bestehen. Hier ergibt sich ein ähnliches Problem wie bei der Austaktung, da ansonsten mit „Flaschenhälsen“ in der Linie zu rechnen ist. Die Station mit der geringsten Möglichkeit zur Volumenanpassung gibt die Gesamtflexibilität der Linie in Hinblick auf die Ausbringungsmenge vor. Der Ressourcebedarfsplanung und der Volumenflexibilitätsbetrachtung schließen sich digitale Absicherungen an. Danach müssen noch weitere Planungsschritte (wie z. B. die Layoutplanung, die Materialflusssimulation etc.) absolviert werden, die jedoch nicht zum Bearbeitungsumfang der vorliegenden Arbeit zählen.

5.2 Details zu den Ausgangsdaten und zu den Planungsschritten

5.2.1 Ausgangsdaten

Im Rahmen dieser Arbeit wird vorgeschlagen, die in Abschnitt 3.2.1 erwähnte Ecktypplanung durch eine Planung von wenigen, als wichtig angesehenen Produktvarianten zu substituieren. Zur Ermittlung der wichtigen Varianten gibt es prinzipiell verschiedene Möglichkeiten. Im Nachfolgenden wird der Fall diskutiert, dass zu dem zu planenden Neufahrzeug ein Vorgänger existiert. Abbildung 5-2 gibt bereits einen ersten Überblick über die modifizierten Ausgangsdaten, die zur Realisierung eines variantenorientierten Planungskonzeptes erforderlich sind.

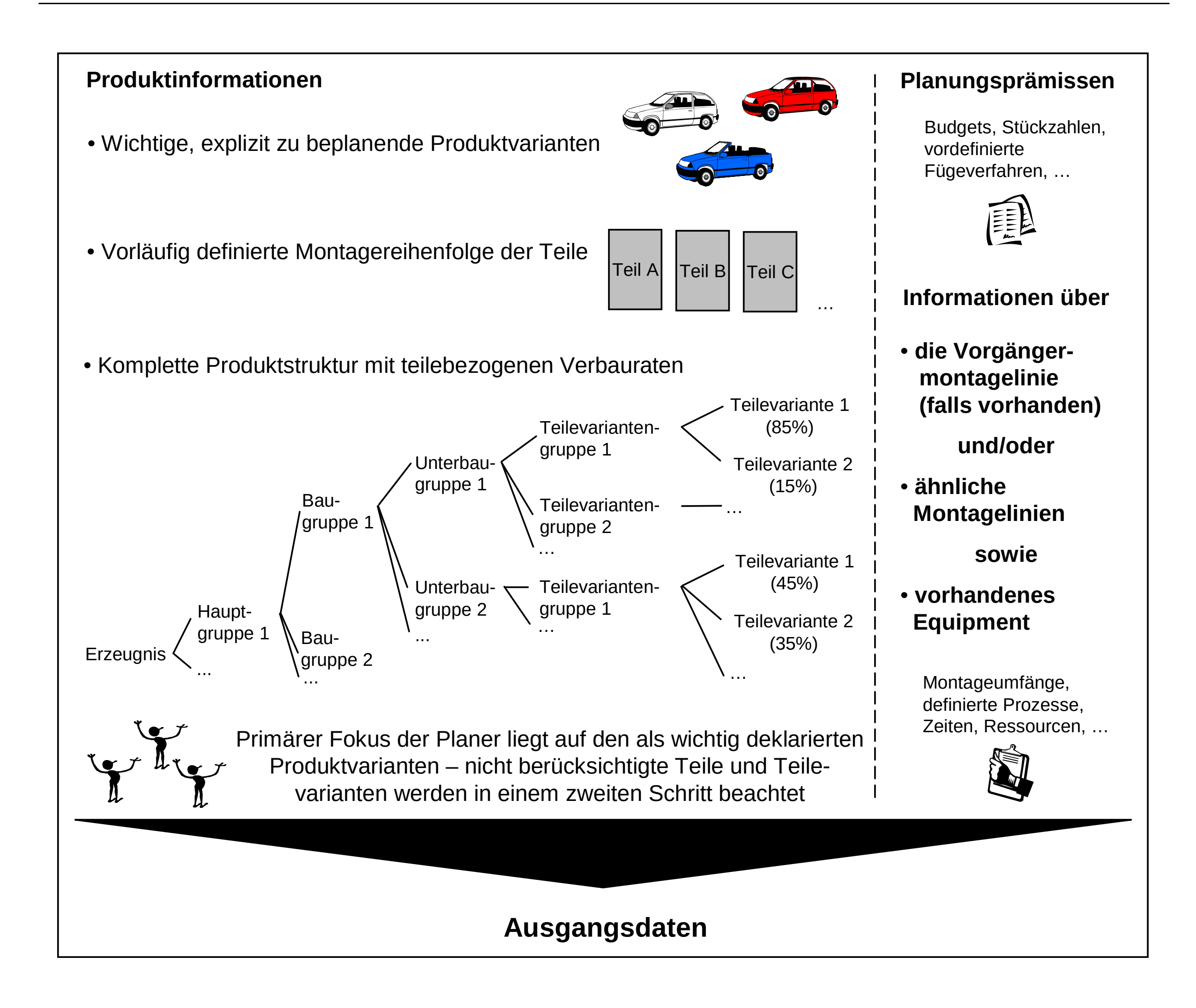


Abbildung 5-2: Übersicht über die modifizierten Ausgangsdaten

Fahrzeugvarianten mit geschätzten hohen Verkaufszahlen sowie vermutlich kritische Fahrzeugkonfigurationen sind als wichtige, separat und explizit zu berücksichtigende Produktvarianten zu deklarieren. Zur Ermittlung der voraussichtlich wichtigen Produktvarianten kann auf bestehendes unternehmensinternes Wissen zurückgegriffen werden. Existiert eine Vorgängerbaureihe, so kann über die Verkaufszahlen des Vorgängers ermittelt werden, welche Fahrzeuge in welcher Ausprägung vom Markt nachgefragt wurden. Auf Basis der erarbeiteten Ergebnisse kann anschließend eine Prognose erfolgen, welche Produktvarianten der neuen Baureihe mit hoher Wahrscheinlichkeit gefragt sein werden. Die Produktvarianten mit den höchsten anzunehmenden Verkaufszahlen sind als wichtig zu deklarieren und im variantenorientierten Planungsansatz zu berücksichtigen.

Es macht jedoch nur Sinn, Produktvarianten zu beplanen, die sich aus montagetechnischer Sicht auch tatsächlich unterscheiden. Bei der reinen Prozessplanung muss z. B. den Bauteilfarben oftmals keine besondere Beachtung geschenkt werden. Zwar ist dieser Punkt

aus der logistischen Sicht nicht vernachlässigbar, zum Verbau der Teile ist es jedoch häufig unerheblich, ob diese farblich differieren.

Potentiell kritische Produktvarianten können auf ähnliche Weise über firmeninternes Wissen identifiziert werden. Üblicherweise ist bekannt, welche Varianten des Vorgängers oder ähnlicher Baureihen in der Vergangenheit Probleme bei der Produktion bereitet haben. Produktvarianten, die in jüngster Vergangenheit negativ aufgefallen sind und auch Bestandteil des neuen Fahrzeugprojektes sind, werden im Rahmen des neuen Planungsansatzes explizit beachtet. Ferner sollten auch solche Produktvarianten als kritisch eingestuft werden, bei denen davon auszugehen ist, dass sie einen überdurchschnittlichen Montageaufwand in einigen Bereichen der Montagelinie verursachen (z. B. Fahrzeuge mit Schiebedach). Sollte ferner kein ausreichendes Wissen über die Montage einer Produktvariante vorhanden sein, so sollte diese Variante ebenfalls zu der Menge der kritischen Produktvarianten hinzugefügt werden. Der zuletzt genannte Punkt tritt zwar nicht häufig auf, allerdings ist in Zukunft verstärkt damit zu rechnen, dass sich Automobilhersteller z. B. mit neuen Fahrzeug- und Antriebskonzepten auseinandersetzen müssen, über die noch kein ausreichendes Erfahrungswissen in Hinblick auf die Montage der Fahrzeugkomponenten vorliegt. Entscheidet sich ein Automobilhersteller z. B. erstmalig ein Hybridfahrzeug in Zusammenhang mit einem neuen Fahrzeugprojekt anzubieten, so ist zumindest ein Fahrzeug mit solch einem Antrieb als kritische Produktvariante zu beplanen.

In Summe sollte die Anzahl der explizit zu beplanenden Produktvarianten allerdings überschaubar bleiben, damit sich der Planungsaufwand bei der separaten Betrachtung der einzelnen Produktvarianten in Grenzen hält. Hinsichtlich der einzelnen zu beplanenden Varianten sei noch angemerkt, dass diese Aufgabe prinzipiell nicht alleinig von einem Planer bewältigt werden muss. Da sich die Produktstruktur in Module zerlegen lässt, kann die Planung der Produktvarianten auch modulweise und somit auf mehrere Planungsexperten verteilt erfolgen. Die Option, aus den verteilten Planungsergebnissen ein Gesamtplanungsergebnis für die entsprechende Variante bzw. für alle berücksichtigten Produktvarianten zu kreieren, ist damit weiterhin gegeben. Abbildung 5-3 zeigt nochmals, welche Produktvarianten im Rahmen dieser Arbeit als wichtig eingestuft werden.

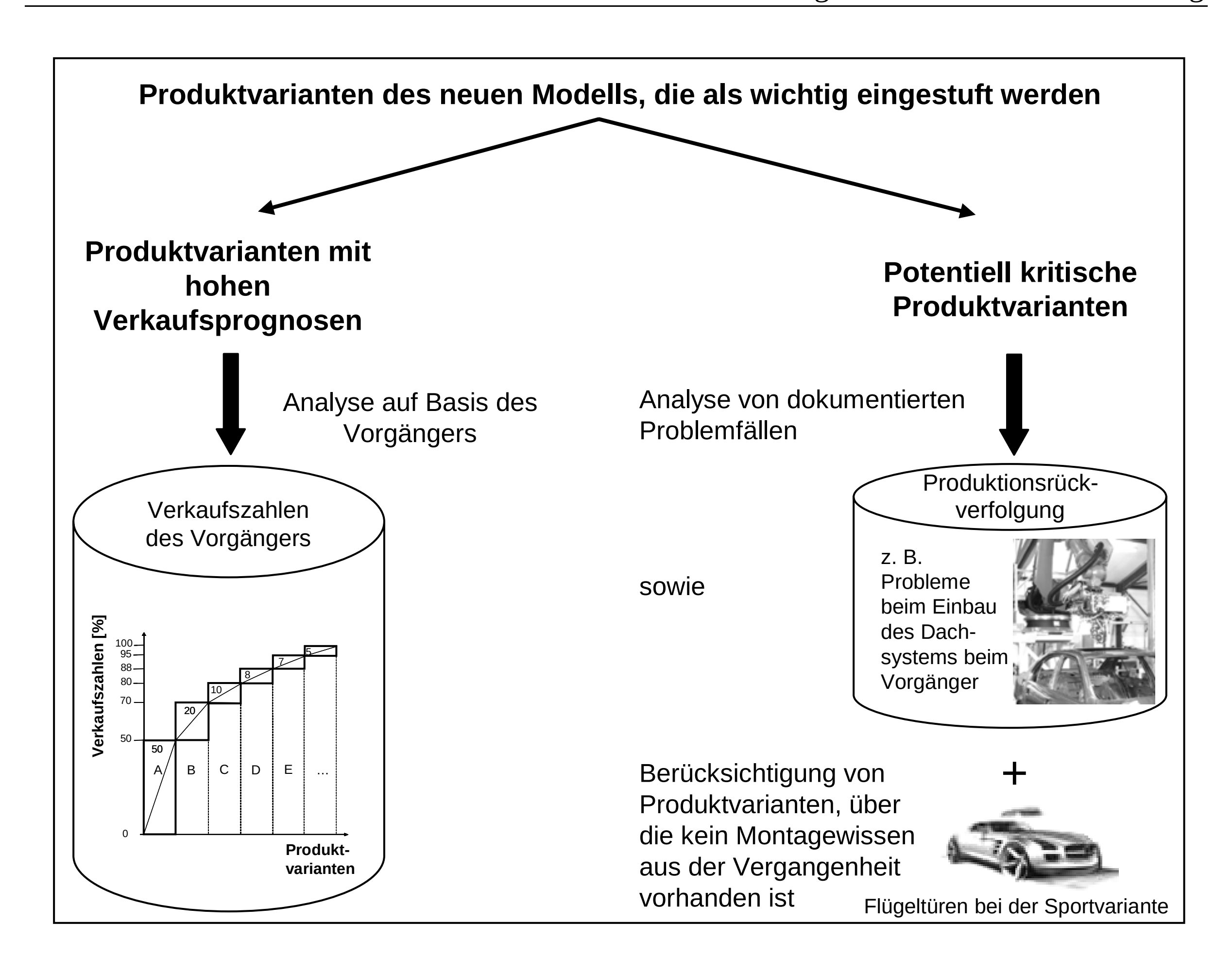


Abbildung 5-3: Identifikation von voraussichtlich wichtigen Produktvarianten

Alle als wichtig deklarierten Produktvarianten müssen im digitalen Planungsumfeld hinterlegt werden und dort selektierbar sein. Eine Möglichkeit zur Auflösung nach den einzelnen Produktvarianten wird zwingend benötigt. Dies ist heutzutage prinzipiell möglich. Den Planern kann im digitalen Umfeld die Produktstruktur mitsamt entsprechenden Filtern zur Verfügung gestellt werden, so dass ohne großen Aufwand nach den speziellen Produktvarianten und deren Teileumfang aufgelöst werden kann. Die Variante mit der angenommen höchsten Verkaufsrate wird nachfolgend als Referenzvariante bezeichnet, da sie aus produktions- und betriebswirtschaftlicher Sicht die bedeutsamste Variante ist.

Zusätzlich zu den Informationen hinsichtlich wichtiger, explizit zu beplanender Produktvarianten sind Informationen hinsichtlich einer vorläufig definierten und bei der Prozessplanung und frühen Ressourceabschätzung einzuhaltenden Montagereihenfolge erforderlich. Die frühzeitig definierte, temporär verbindliche Montagereihenfolge gestattet es Prozess- und Ressourcegraphen systematisch und vergleichbar aufzustellen. Die vorgegebene Montagereihenfolge ist jedoch keinesfalls endgültig – die Austaktung definiert letztlich, in welcher

Reihenfolge die Baugruppen und Teile der Produktvarianten wann und wo zu montieren sind. Zur Ermittlung der anfänglich zu verwendenden Montagereihenfolge kann entweder erneut auf unternehmensinternes Wissen zurückgegriffen werden – z. B. kann die Montagereihenfolge der Vorgängerbaureihe herangezogen werden –, oder aber es kann ausgehend von der Produktstruktur eine Identifikation einer sinnvollen Montagereihenfolge stattfinden. Neue Möglichkeiten würden sich ferner ergeben, wenn tatsächlich ein Vorranggraph erstellt würde. Da ein Vorranggraph alle theoretisch möglichen Montagereihenfolgen beinhaltet, könnte auf dessen Basis eine sinnvolle Montagereihenfolge selektiert werden.

Nach Abschluss der graphenbasierten Prozessplanung für die als wichtig deklarierten Produktvarianten muss den Bauteilen Aufmerksamkeit geschenkt werden, denen noch keine Prozesse zugeordnet sind. Die Prozessplanung erfolgt an dieser Stelle äquivalent zum klassischen Vorgehen, d. h. für die bis dahin nicht berücksichtigten Bauteile, die spezielle Montage- und Prüfoperationen benötigen, werden Prozesse nach dem teilebasierten Vorgehen definiert. Ähnlich wird übrigens auch bei der Ressourceabschätzung verfahren. Zur Durchführung der Austaktung müssen allen Teilen Prozesse zugeordnet sein, unabhängig davon, ob sie zu dem Teileumfang der als wichtig deklarierten Produktvarianten gehören oder nicht. Des Weiteren sei darauf hingewiesen, dass es als wünschenswert und wichtig erachtet wird, dass sich Planer zukünftig stets ohne große Umstände und Wartezeiten Bauteile und deren Verbausituation visualisieren lassen können.

Zur Durchführung einer Wiederverwendungsplanung müssen Informationen zu bereits vorhandenen, verfügbaren Ressourcen bereitgestellt werden. Im vorliegenden Fall wird diesbezüglich die Realisierung einer digitalen Wiederverwendungsbibliothek angestrebt. Ferner sei darauf hingewiesen, dass die Planungsprämissen auch bereits Flexibilitätsvorgaben beinhalten können.

5.2.2 Prozessplanung

Im Rahmen dieser Arbeit soll die Prozessplanung für die als wichtig eingestuften Produktvarianten durch die Erstellung eines so genannten Prozessgraphen erfolgen. Wie in [Zenn06] beschrieben, bieten Prozessgraphen deutliche Vorteile bei der Planung von Produktvarianten, da sie transparent und nachvollziehbar aufgebaut sind. Um ein Höchstmaß an Transparenz sicherzustellen, sollte ein Prozessgraph jedoch nicht nur aus Prozessbausteinen und einem

Verbindungstyp bestehen, sondern ein größeres Spektrum an graphischen Elementen aufweisen, die eine eindeutige Identifizierung von Sachverhalten zulassen und zudem eine systemseitige Auswertung der Prozessvarianz gestatten. In [BlFZ04, BlZe05, BlZe06] wurde bereits die Einführung von so genannten Variantenknoten vorgeschlagen. Im vorliegenden Fall müssen allerdings weitere Variantenknoten definiert werden, die für den Bereich der frühen Endmontageplanung zutreffend sind. Ferner sollen austaktungsrelevante Informationen bereits während der graphenbasierten Prozessplanung erkannt, im digitalen Umfeld dokumentiert und somit der Austaktung unterstützend zur Verfügung gestellt werden.

Um Prozessgraphen eindeutig und systematisch zu erstellen, bedarf es eines gewissen Regelwerkes, welches von den Prozessplanern zu beachten ist. Die zu Planungsbeginn zur Verfügung gestellte, temporär als verbindlich anzusehende, teilebasierte Montagereihenfolge gibt bereits das Grundgerüst zur Erstellung eines Prozessgraphen vor. Ferner wird empfohlen den Planungsprozess stets mit der Planung der Referenzvariante zu starten und sukzessive die weiteren Produktvarianten zu berücksichtigen. Für die Referenzvariante kann sich lediglich eine Prozessfolge ergeben – variantenbedingte Verzweigungen können nur in Zusammenhang mit weiteren zu beplanenden Produktvarianten auftreten, falls diese andere oder zusätzliche Prozesse benötigen. Bereits bei der Planung der Referenzvariante müssen unterschiedliche Verbindungstypen beachtet werden, die Aufschluss darüber geben, wie die erzeugten Montageprozesse aufeinanderfolgend in Beziehung stehen. Tabelle 5-1 zeigt die Verbindungstypen, die im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wurden und die bei der graphenbasierten Prozessplanung eine Verwendung finden.

Verbindungs-typ	Beschreibung	Visuelle Darstellung
1	Die Prozesse gehören untrennbar zusammen und können nicht auf verschiedene Werker aufgeteilt werden	P1 → P2 Verbindungstyp 1
2	Empfehlung, die Prozesse nicht zu verteilen (Aufteilung auf verschiedene Werker möglich, aber nicht unbedingt gewünscht)	P3 → P4 Verbindungstyp 2
3	Keine Restriktion (Aufteilung auf verschiedene Werker möglich)	P5 → P6 Verbindungstyp 3

Tabelle 5-1: Definierte Verbindungstypen und deren Bedeutung

Durch regelkonforme Platzierung der Verbindungstypen unter den Prozessen können der Austaktung wichtige prozessübergreifende Informationen zur Verfügung gestellt werden. Zwischen den Prozessen, die für die Montage eines Teiles bzw. die Montage einer Gruppe von alternativen Teilen erforderlich werden, treten üblicherweise der Verbindungstyp 1 („Die Prozesse gehören untrennbar zusammen und können nicht auf verschiedene Werker aufgeteilt werden“) und/oder der Verbindungstyp 2 („Empfehlung, die Prozesse nicht zu verteilen“) auf. Bauteilübergreifend ist es jedoch oftmals so, dass der Verbindungstyp 3 („Keine Restriktion“) eine Verwendung findet.

Bei der Berücksichtigung der weiteren, ebenfalls explizit zu beplanenden Produktvarianten müssen evtl. andere oder zusätzliche Prozesse gegenüber der Prozessfolge der Referenzvariante angelegt werden. Es ist auch möglich, dass Prozesse, die für die Referenzvariante erforderlich sind, für andere Produktvarianten nicht benötigt werden. Werden Verzweigungen im Graphen erforderlich, so sind diese durch Variantenknoten kenntlich zu machen. Hierbei muss zwischen öffnenden und schließenden Variantenknoten differenziert werden (vgl. Tabelle 5-2). Variantenbehaftete Prozesse werden stets von einem Knotenpaar eingeschlossen. Diese Maßnahme ist erforderlich, um Fehlinterpretationen beim Lesen des Graphen ausschließen zu können. Dieses Vorgehen wurde auch bereits von [Zenn06] als erforderlich eingestuft. Tabelle 5-2 zeigt die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Variantenknoten, die für die Prozessplanung im Bereich der Endmontage erforderlich sind.

Sind unterschiedliche Prozesse für die Montage alternativer Teile erforderlich, so müssen die Variantenknoten „Zeitvarianz“ und „Technikvarianz“ in Betracht gezogen werden (vgl. Tabelle 5-2, Fall 1). Eine Zeitvarianz besagt, dass prinzipiell gleiches Equipment und Montage-Know-how für den Verbau der variantenbehafteten Teile erforderlich sind, sich bei der Durchführung der Prozesse jedoch zeitliche Unterschiede ergeben. Dies ist z. B. bei zwei aus technischer Sicht prinzipiell gleichen Verschraubvorgängen der Fall, wenn bezüglich eines Bauteils A zwei Schrauben, bezüglich eines Bauteils B jedoch drei Schrauben mit unveränderten Parametern und unveränderter Ressource anzuziehen sind. Müssten bei diesem Beispiel aufgrund unterschiedlicher Materialeigenschaften der Bauteile unterschiedliche Schraubparameter gewählt werden, die unterschiedliche Ressourcen bedingen, so wäre allerdings der Variantenknoten „Technikvarianz“ einzusetzen – unabhängig davon, ob die eingeschlossenen Prozesse sich in ihrer Bearbeitungszeit unterscheiden oder nicht. Bei der Prozessplanung werden also bereits ressourceseitige Aspekte berücksichtigt.

Mögliche Fälle	Beschreibung	Mögliche Variantenknoten und visuelle Darstellung
Fall 1 Öffnender Knoten Schließender Knoten	Ein existierender Prozess kann für bestimmte Produkt- bzw. Teilevarianten nicht verwendet werden und es bedarf eines anderen Prozesses	Variantenknoten: **„Zeitvarianz“** Für Prozesse, die sich in ihrer zeitlichen, aber nicht in ihrer technischen Ausführung unterscheiden P1 P2 t t
		Variantenknoten: **„Technikvarianz“** Für Prozesse, die sich in ihrer technischen Ausführung unterscheiden P3 P4 T T
Fall 2 Öffnender Knoten Schließender Knoten	Es wird ein zusätzlicher Prozess erforderlich, wo zuvor keiner benötigt wurde oder ein bestehender Prozess wird für andere Produkt- bzw. Teilevarianten nicht benötigt	Variantenknoten: **„Addition“** Für einen zusätzlichen Prozess, der für die Referenzvariante nicht benötigt wird P5 + +
		Variantenknoten: **„Subtraktion“** Für die Referenzvariante erforderlicher Prozess, der für andere Produktvarianten nicht benötigt wird P6 - -

Tabelle 5-2: Definierte Variantenknoten und deren Bedeutung

Für den zweiten Fall, dass bestehende Prozesse für andere Produktvarianten nicht benötigt werden bzw. dass an Stellen Prozesse erforderlich werden, an welchen zuvor keine benötigt wurden, kommen die Variantenknoten „Subtraktion“ bzw. „Addition“ in Frage (vgl. Tabelle 5-2, Fall 2). Eine Entscheidung für einen der beiden Knoten ist systematisch danach zu treffen, ob der betrachtete Prozess für die Referenzvariante erforderlich ist oder nicht. Die Unterscheidung zwischen den Variantenknoten „Addition“ bzw. „Subtraktion“ macht insofern Sinn, da in einem Nachfolgeschritt über diese Differenzierung analysiert werden kann, wie viele Zusatzprozesse auftreten, die nicht für die wichtigste Variante – die Referenzvariante – erforderlich sind. Die so kenntlich gemachten Zusatzprozesse sollten nach einer abgeschlossenen Prozessplanung auf ihre Verwendungshäufigkeit – diese ergibt sich über die den Prozessen zugeordneten Teile und deren Verbauraten – hin untersucht und evtl. deren Existenzberechtigung kritisch hinterfragt werden. Prinzipiell sollte mit allen Prozessen so verfahren werden, die nicht für die Referenzvariante erforderlich sind.

Bei variantenbehafteten Verzweigungen sollte generell ermittelt werden, wie viele Prozesse von Variantenknoten eingeschlossen sind, wie groß der Unterschied zwischen den Prozessvarianten ist und welche Konsequenzen dies letztlich mit sich bringt. Es besteht nämlich die Option, über produktseitige Änderungen die Art und Anzahl der prozessseitig vorherrschenden Variantenknoten zu verändern bzw. zu verringern. Eine hohe Anzahl an Technikvarianten ist aus Standardisierungssicht besonders unvorteilhaft und sollte nach Möglichkeit vermieden werden. Zur Reduzierung der Anzahl der Technikvarianten können entweder konstruktive Änderungen der zu verbauenden Teile und/oder deren Verbindungselemente in Betracht gezogen werden. In einigen Fällen mag die Reduzierung der vorhandenen Anzahl an Variantenknoten sinnvoll und umsetzbar sein, oftmals müssen aber wohl auch Prozessvarianten mit geringer Verwendungshäufigkeit akzeptiert werden, um die gewünschte produktseitige Varianz nicht zu gefährden.

Aufgrund der Tatsache, dass unterschiedliche Variantenknoten eine Verwendung finden, kann ein erzeugter Graph detailliert nach der Anzahl dieser Elemente ausgewertet werden. Über die ermittelten Zahlenwerte kann dann eine erste objektive Aussage über den Standardisierungsgrad auf der Prozessseite erfolgen. Suboptimale Varianzausprägungen sind auf diese Weise frühzeitig zu identifizieren. Bei Bedarf können zeitnahe Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Über einen längeren Einsatz der Auswertungsmethodik könnten womöglich zudem neue Erkenntnisse im Bereich der Endmontage gewonnen werden. Wird systematisch erfasst,

wie sich die Anzahl der Prozesse und Prozessvarianten über verschiedene Fahrzeuggenerationen entwickelt und welche Resultate und Probleme sich dadurch ergeben, so könnte auf dieser Grundlage eine Wissensbasis geschaffen werden, die genaueren Aufschluss darüber gibt, welche prozessseitige Varianzausprägung akzeptabel und welche inakzeptabel ist.

Zur Vollständigkeit und Verständlichkeit wird in Abbildung 5-4 gezeigt, wie sich eine graphenbasierte Planung in Hinblick auf das Zierleistenbeispiel aus Abschnitt 2.4.3, Tabelle 2-1 prozessseitig darstellt.

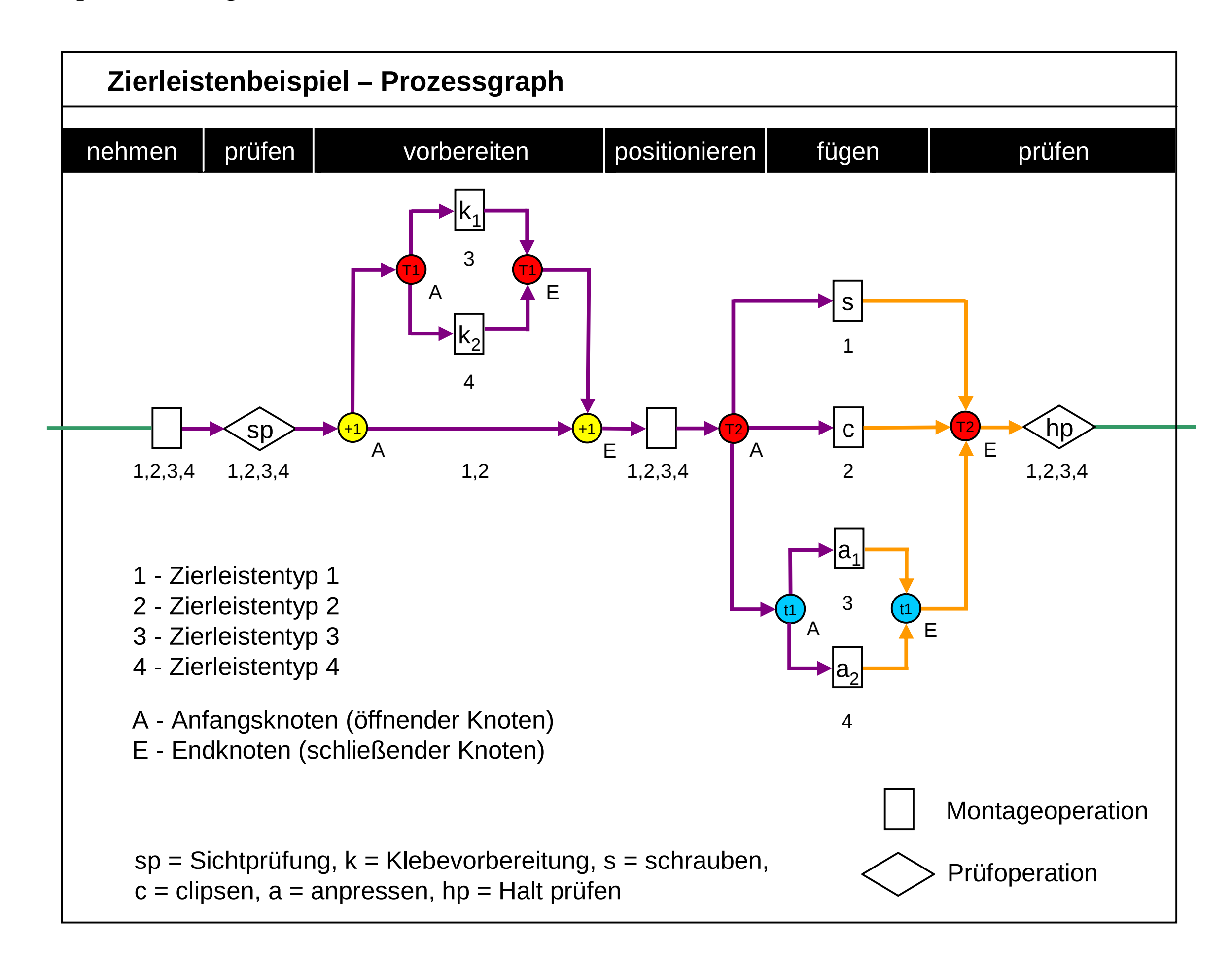


Abbildung 5-4: Prozessgraph (Zierleistenbeispiel aus Tabelle 2-1)

Die Teilevarianz an Zierleisten führt auch prozessseitig zu einer deutlichen Varianz. Es sind zehn Montageprozesse für die vier unterschiedlichen Zierleisten erforderlich. Die zehn Montageprozesse gliedern sich in vier Standardprozesse, die zum Verbau aller Zierleistentypen unabdingbar sind, und sechs weitere Prozesse, die nur für die Montage bestimmter Zierleisten benötigt werden. Ferner kann im Prozessgraph zwischen Montage- und Prüfoperationen unterschieden werden. In Bezug auf das Zierleistenbeispiel gibt es zwei

Prüfoperationen, die unmittelbar durch ihr eigenständiges Symbol („Raute“ anstatt „Rechteck“) im Graphen ersichtlich sind und von allen Varianten benötigt werden.

Bei einer Betrachtung der reinen Anzahl an auftretenden Variantenknotenpaaren – ohne Beachtung der eingeschlossenen Prozesse und Unterknoten – fällt die starke Prozessvarianz nicht unmittelbar auf. Es treten zwei Variantenknotenpaare des Typs „Technikvarianz“ auf, ein Variantenknotenpaar des Typs „Zeitvarianz“ und ein Variantenknotenpaar vom Typ „Addition“. Die Anzahl der Variantenknotenpaare ist somit letztlich nur als Indiz für die vorherrschende Prozessvarianz zu verstehen. Zusätzlich zur Erfassung der Anzahl der vorhandenen Variantenknotenpaare muss daher auch erfasst werden, wie viele Prozesse und gegebenenfalls Unterknoten die öffnenden und schließenden Variantenknoten beinhalten. Tabelle 5-3 zeigt, welche Resultate die erarbeitete Methodik liefert.

Prozessbetrachtung

Anzahl an Standardprozessen	Anzahl an variantenbehafteten Prozessen
4	6

Knotenbetrachtung

Knotentyp	t	T	+	-
Paaranzahl	1	2	1	0

Knotenpaar	Anzahl eingeschlossener Prozesse	Anzahl eingeschlossener Knotenpaare
+1	2 (>1, erhöhte Varianz!)	1 (T1)
T1	2	/
T2	4 (>2, erhöhte Varianz!)	1 (t1)
t1	2	/

Tabelle 5-3: Untersuchung der Prozessvarianz (Zierleistenbeispiel aus Tabelle 2-1)

Im vorliegenden Beispiel ergibt sich, dass vom Variantenknotenpaar T1 zwei Prozesse und vom Variantenknotenpaar T2 vier Prozesse und das Knotenpaar t1 eingeschlossen werden. Hinsichtlich des auftretenden Variantenknotenpaares t1 ist festzustellen, dass dieses zwei

Prozesse umschließt. Das Variantenknotenpaar +1 schließt zwei Prozesse und das Knotenpaar T1 ein. Durch diese detaillierte Betrachtung ergibt sich letztlich ein anschaulicheres Bild über die vorherrschende Prozessvarianz (vgl. Tabelle 5-3). Für den Betrachter des Prozessgraphen ist solch eine Analyse nur dann erforderlich, wenn der Graph verhältnismäßig groß ist. Von Nachteil ist es jedoch generell nicht, wenn auch systemseitig detaillierte Informationen über die vorherrschende Prozessvarianz verfügbar sind. Systemseitig kann dann eine Aufforderung erfolgen, an bestimmten Stellen im Graph eine Nachbetrachtung einzuleiten.

Bei einer Begutachtung potentiell kritischer Bereiche in einem Prozessgraph sind generell viele Details zu beachten. Zeitunterschiede bei den variantenbehafteten Montageprozessen sind zu begutachten und Entscheidungen müssen getroffen werden, ob die festgestellten zeitlichen Abweichungen akzeptabel sind. Gegebenfalls müssen Möglichkeiten diskutiert werden, wie zeitliche Abweichungen entweder minimiert oder im Rahmen der realen Produktion akzeptabel – ohne gravierende Auslastungsverluste – zu handhaben sind. Durch den Einsatz von Springern können z. B. zeitliche Probleme, die bei bestimmten Produktvarianten auftreten, teilweise kompensiert werden. Bei der durchzuführenden Nachbetrachtung müssen auch die Verbindungstypen zu umliegenden Prozessen berücksichtigt werden. Es wäre erstrebenswert, wenn vermeintlich kritische Bereiche im Prozessgraph automatisch systemseitig hervorgehoben würden. Ein erstes Indiz für das Vorhandensein von kritischen Bereichen kann zudem eine Betrachtung der Zeiten der einzelnen Produktvarianten liefern. Variieren die resultierenden Gesamtmontagezeiten der einzelnen Produktvarianten stark, so sind mit hoher Wahrscheinlichkeit auch einzelne Montageschritte im Graph vorhanden, die starke Zeitunterschiede bei den Prozessvarianten aufweisen.

Generelle Aussagen dahingehend, welche Variantenknoten als kritisch bzw. unkritisch einzustufen sind, gestalten sich schwierig. Fallspezifische Aspekte spielen hierbei eine entscheidende Rolle. Bei den durchgeführten Untersuchungen hat sich lediglich gezeigt, dass Variantenknoten des Typs „Zeitvarianz“ oftmals als unkritisch eingestuft werden können. Ist die zeitliche Differenz der von einem Variantenknoten „Zeitvarianz“ eingeschlossenen Prozesse gering und das Verhältnis der identifizierten Zeitdifferenz zur angestrebten Taktzeit klein, so kann der betrachtete Montageschritt prinzipiell als unkritisch eingestuft werden. Bei den Variantenknoten des Typs „Technikvarianz“ kann es hingegen häufiger zu größeren zeitlichen Abweichungen bei den eingeschlossenen Prozessen kommen, da der Einsatz unterschiedlicher Fügetechnologien oftmals zu stark differierenden Montagezeiten führt. Ferner ist

zu beachten, dass der Variantenknoten des Typs „Technikvarianz“ auch zu einer Ressourcevarianz und somit zu hohen Investitionskosten in Arbeits- und Betriebsmittel führen kann – dies wird noch näher in Abschnitt 5.2.3 erläutert. Die Variantenknoten des Typs „Addition“ und „Subtraktion“ sind ebenfalls eher als kritisch einzustufen. Aufgrund der Tatsache, dass die Variantenknoten des Typs „Addition“ und „Subtraktion“ stets zusätzliche Prozesse (vgl. Tabelle 5-2) einschließen, die von bestimmten Produktvarianten nicht benötigt werden, sind zwangsläufig Auslastungsdefizite abzusehen – zumindest dann, wenn es bei der Austaktung nicht gelingt, durch geschicktes Zusammenlegen derartiger Zusatzprozesse das Problem in bestimmten Stationen zu lösen. Benötigen die Zusatzprozesse zudem spezielle Ressourcen, so wird deren Auslastung nicht 100% betragen. Ferner ist bei einem vorliegenden Ressourcebedarf speziell bei den Variantenknoten des Typs „Addition“ zu prüfen, ob die erforderlich werdenden Zusatzinvestitionen tragbar sind. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass es sich bei den getroffenen Aussagen keineswegs um allgemeingültige Sachverhalte handelt. Sind im Graph variantenbehaftete Bereiche vorhanden, so müssen diese ausführlich begutachtet werden. Variantenbehaftete Bereiche können nicht bereits im Vorfeld als unkritisch eingestuft werden. Ferner wurde bereits mehrfach darauf hingewiesen, dass nicht nur auf die Prozesse und Variantenknoten zu achten ist, sondern die Verbindungstypen ebenfalls eine wichtige Rolle in Bezug auf potentiell kritische Bereiche spielen.

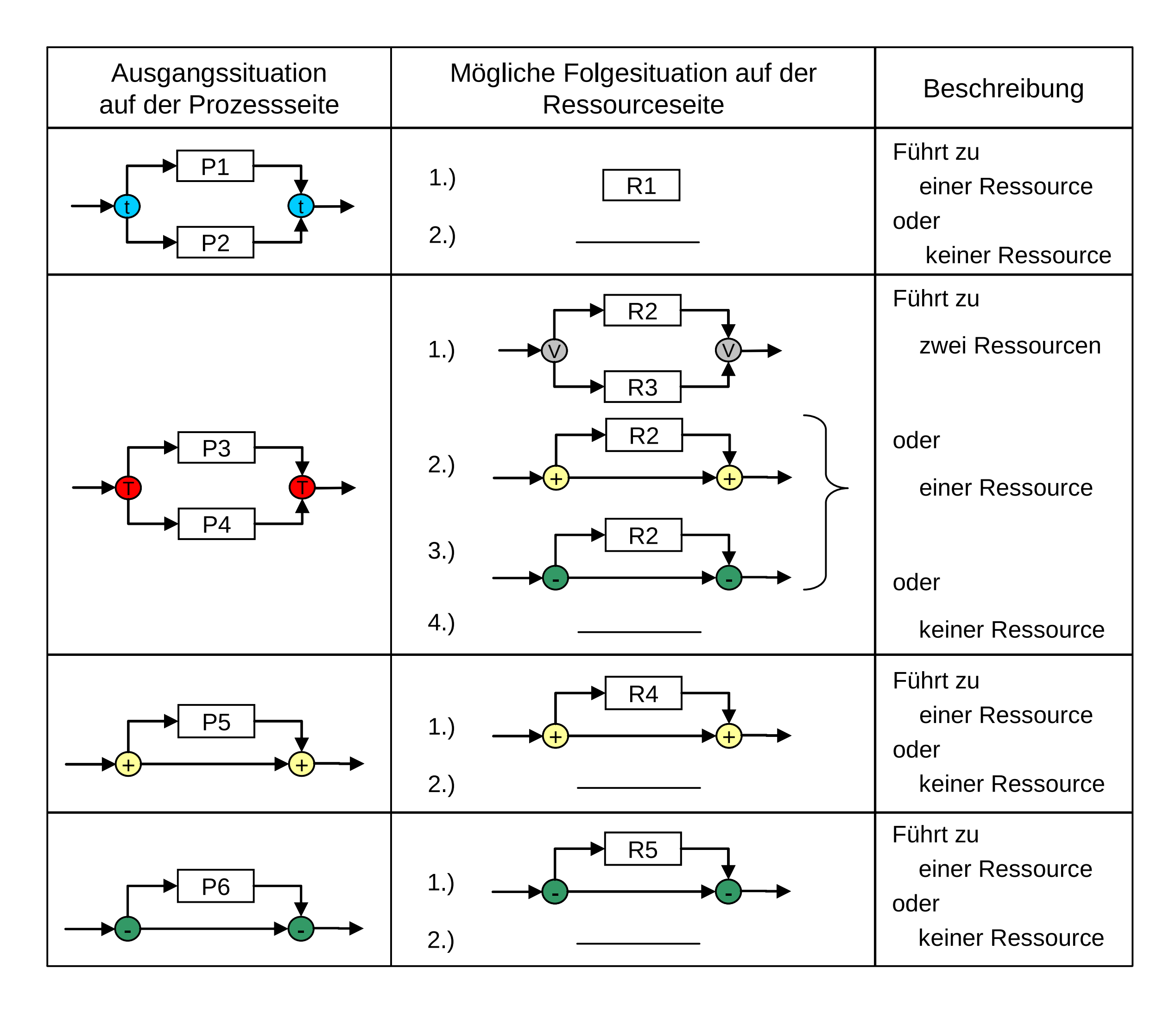
Auch auf der Prozessseite ist es – analog wie auf der Produktseite – erstrebenswert, Filtermechanismen zu realisieren, so dass über die Aktivierung der Filterung Produktvarianten mitsamt ihren zugehörigen Prozessen visualisiert und beurteilt werden können. Zur Beurteilung der einzelnen Produktvarianten sollte übrigens auch gehören, dass diese hinsichtlich ihrer Herstellungskosten frühzeitig untersucht werden.

Teile, die nicht zum Umfang der als wichtig deklarierten Produktvarianten gehören und für die folglich im Rahmen der graphenbasierten Planung keine Prozesse zugeordnet bzw. erstellt wurden, sind in einem Folgeschritt auf klassische Weise zu betrachten. Letztlich müssen für alle Teile Montageprozesse definiert sein, damit die Austaktung durchgeführt werden kann.

Die Übersichtlichkeit des Prozessgraphen bietet einen sehr guten Ausgangspunkt zur Identifikation problematischer Bereiche und kann als Entscheidungs- und Argumentationsgrundlage herangezogen werden. Der Prozessgraph trägt zur Risikoidentifikation und -reduzierung im Bereich der Prozessplanung bei.

5.2.3 Ressourceabschätzung

Auf Basis der Prozessplanung kann generell eine erste Definition und Dokumentation an erforderlichen Ressourcen erfolgen. Im Allgemeinen gilt aber, dass die frühe Prozess-Ressource-Verknüpfung nur als vorläufig angesehen werden kann. Erst nach der Austaktung steht der eigentliche Ressourcebedarf mit hinreichender Genauigkeit fest. Ferner müssen auch noch die digitalen Absicherungen erfolgreich mit den gewählten Ressourcen absolviert werden. Sowohl aus technischer als auch betriebswirtschaftlicher Sicht ist es jedoch sinnvoll, so früh wie möglich Aussagen zu den wahrscheinlich erforderlichen Ressourcen zu treffen. Wie in [Steu09] gezeigt, kann ein Prozessgraph in einen Ressourcegraph überführt werden. Tabelle 5-4 zeigt, wie die prozessseitigen Variantenknoten prinzipiell auf der Ressourceseite zu interpretieren sind.



Ausgangssituation auf der Prozessseite	Mögliche Folgesituation auf der Ressourceseite	Beschreibung
t: P1, P2	1.) R1 2.) ———	Führt zu einer Ressource oder keiner Ressource
T: P3, P4	1.) V: R2, R3 2.) +: R2 3.) -: R2 4.) ———	Führt zu zwei Ressourcen oder einer Ressource oder keiner Ressource
+: P5	1.) +: R4 2.) ———	Führt zu einer Ressource oder keiner Ressource
-: P6	1.) -: R5 2.) ———	Führt zu einer Ressource oder keiner Ressource

Tabelle 5-4: Ableiten eines Ressourcegraphen – Variantenknoten

Es ist ersichtlich, dass ressourceseitig drei verschiedene Variantenknoten auftreten können: der Variantenknoten „Ressourcevarianz“ sowie die Variantenknoten „Addition“ und „Subtraktion“. Die Variantenknoten „Addition“ und „Subtraktion“ verhalten sich genauso wie die gleichnamigen Variantenknoten auf der Prozessseite. Der Variantenknoten „Ressourcevarianz“ wird hingegen benötigt, wenn für den Verbau von alternativen Teilen unterschiedliche Ressourcen erforderlich werden.

Der Prozessgraph beinhaltet aber nicht nur unterschiedliche Variantenknoten, sondern auch unterschiedliche Verbindungstypen, die ressourceseitig interpretiert werden können. Zwar werden alle prozessseitigen Verbindungen lediglich in einen ressourceseitigen Verbindungstyp umgewandelt – dieser dient zudem nur zur Orientierung im Graphen und trägt aus planerischer Sicht keine weiteren nennenswerten Informationen –, jedoch können auf Basis der prozessseitigen Verbindungstypen Regeln definiert werden, ob Ressourcen zusammenfallen und somit lediglich einmal angelegt und mehrfach zugewiesen werden oder ob für die betrachteten Prozesse jeweils separat Ressourcen angelegt und diese jeweils einzeln verknüpft werden. Tabelle 5-5 zeigt die in dieser Arbeit definierten Regeln, die bei zwei hintereinander angeordneten Prozessen mit gleichem Ressourcebedarf und unterschiedlichen Verbindungstypen einzuhalten sind.

Ausgangssituation auf der Prozessseite	Folgesituation auf der Ressourceseite aufgrund definierter Regeln	Beschreibung
R1 R1 P1 → P2 Verbindungstyp 1	R1	Führt zu einer Ressource
R2 R2 P3 → P4 Verbindungstyp 2	R2 R2 (definiert; Worst-Case-Betrachtung)	Führt zu zwei Ressourcen
R3 R3 P5 → P6 Verbindungstyp 3	R3 R3 (definiert; Worst-Case-Betrachtung)	Führt zu zwei Ressourcen

Tabelle 5-5: Ableiten eines Ressourcegraphen – Verbindungstypen

Aus Tabelle 5-5 wird indirekt ersichtlich, dass lediglich bei dem Verbindungstyp 1 („Die Prozesse gehören untrennbar zusammen und können nicht auf verschiedene Werker aufgeteilt

werden“) Klarheit in Bezug auf die Möglichkeit des Zusammenfassens von Ressourcen besteht. Bei der dargestellten Konstellation zweier hintereinander angeordneter Prozesse mit gleichem Ressourcebedarf, die über einen magentafarbenen Pfeil verbunden sind, wird definitiv nur eine Ressource zur Aufgabenerfüllung benötigt. Für den Verbindungstyp 2 („Empfehlung, die Prozesse nicht zu verteilen“) und den Verbindungstyp 3 („Keine Restriktion“) besteht hingegen keine eindeutige Klarheit. Um zu einer ersten Abschätzung des Ressourcebedarfs zu gelangen, müssen für diese beiden Fälle Interpretationsregeln erstellt werden. In der vorliegenden Arbeit wird für den Verbindungstyp 2 und 3 so verfahren, dass zwei identische Ressourcen erzeugt werden, wenn zwei hintereinander angeordnete Prozesse mit gleichem Ressourcebedarf über diese Verbindungstypen gekoppelt sind. Es wird folglich eine Worst-Case-Betrachtung durchgeführt, die letztlich ein Höchstmaß an Planungssicherheit gewährleistet.

Die Ressourceabschätzung ist erst dann abgeschlossen, wenn alle vorhandenen Prozesse begutachtet und ihnen gegebenenfalls Ressourcen zugewiesen wurden. Prozesse, die nicht im Rahmen der graphenbasierten Planung erstellt wurden, müssen in einem Folgeschritt auf klassische Weise berücksichtigt werden und ihnen muss bei Bedarf eine separate Ressource zugeordnet werden. Letztlich muss für alle Prozesse eine ressourceseitige Betrachtung erfolgen, damit lückenlose Ergebnisse vorliegen, die für erste Mengen- und Investitionsbetrachtungen herangezogen werden können. Es wird jedoch erneut darauf hingewiesen, dass erst nach der Austaktung der eigentliche Ressourcebedarf mit hinreichender Genauigkeit feststeht.

In Hinblick auf den in Abbildung 5-4 gezeigten Prozessgraph kann entsprechend den in diesem Abschnitt vorgestellten Regeln ein Ressourcegraph für das Zierleistenbeispiel aus Abschnitt 2.4.3, Tabelle 2-1 erstellt werden. Abbildung 5-5 zeigt den für das Zierleistenbeispiel erstellten Ressourcegraph. Ressourceseitig kann ferner zwischen Montage- und Prüfequipment unterschieden werden, wobei für das Zierleistenbeispiel kein Prüfequipment erforderlich ist.

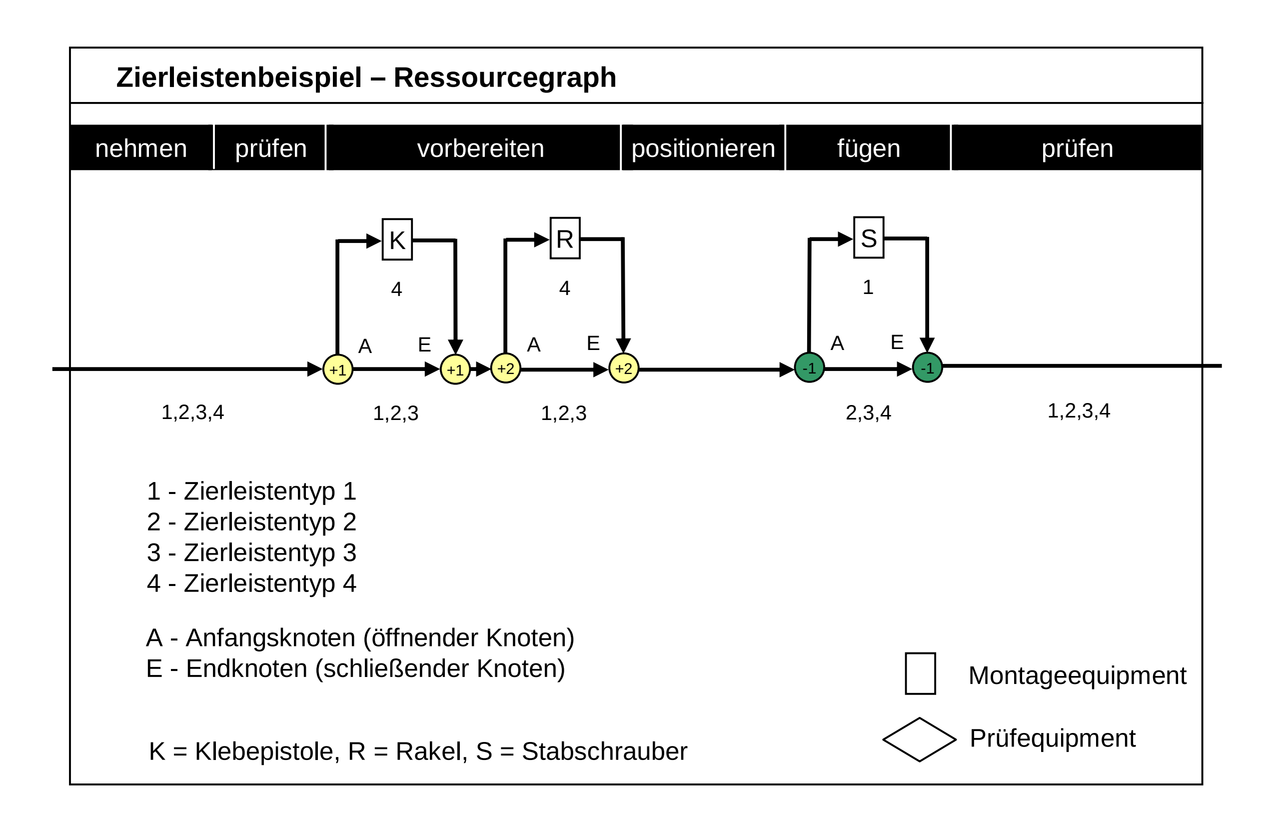


Abbildung 5-5: Ressourcegraph (Zierleistenbeispiel aus Tabelle 2-1)

Bei der Betrachtung des Ressourcegraphen wird unmittelbar ersichtlich, dass kaum Arbeitsmittel zur Montage der Zierleisten benötigt werden. Die vorherrschende ressourceseitige Varianz ist zwar suboptimal aber trotzdem überschaubar – es treten zwei öffnende und schließende Variantenknoten des Typs „Addition“ und ein öffnender und schließender Variantenknoten des Typs „Subtraktion“ auf. Eine detaillierte Betrachtung der Ressourcevarianz ist, analog wie bei der Betrachtung der Prozessvarianz, möglich. An dieser Stelle wird allerdings auf solch eine Auswertung verzichtet, zumal sich bezüglich der von den Knotenpaaren eingeschlossenen Ressourcen keine erhöhte Varianz ergibt.

Sollte nach dem Erstellen eines Ressourcegraphen festgestellt werden, dass eine hohe Varianz bezüglich der Arbeitsmittel vorliegt, so ergeben sich, analog wie bei einer hohen Prozessvarianz, Handlungsmöglichkeiten. In Abhängigkeit von den Verbindungstypen unter den Prozessen können u. U. auch flexiblere Ressourcen angeschafft werden, die mehrere der ursprünglich geplanten Ressourcen ersetzen, oder aber es besteht erneut die Möglichkeit über konstruktive Bauteiländerungen die Ressourcevarianz zu vermindern.

Auch auf der Ressourceseite ist es, analog wie auf der Produkt- und Prozessseite, ratsam Filtermechanismen zu installieren, so dass über die Aktivierung der Filterung Produkt-

varianten mitsamt ihren zugehörigen Prozessen und Ressourcen visualisiert und beurteilt werden können.

Im vorliegenden Fall wird die Einführung einer frühen Ressourceabschätzung primär dazu benötigt, um aufbauend auf den Ergebnissen eine Wiederverwendungsplanung anzustoßen. Ferner wird der Ressourcegraph auch für die Durchführung von Kostenkalkulationen benötigt. Auch der Ressourcegraph trägt zur Risikoreduzierung im Planungsablauf bei.

5.2.4 Planung der Wiederverwendung von Ressourcen

Wie bereits in Abschnitt 2.5.2 erwähnt, soll im vorliegenden Fall der Planungsprozess nicht zwingend mit Restriktionen bezüglich wieder zu verwendenden Equipments gestartet werden. Stattdessen soll die Frage nach der Wiederverwendbarkeit von existierenden Ressourcen unmittelbar bei der Planungsdurchführung geklärt werden. Das Ergebnis der Ressourceabschätzung, welches ohne Beachtung von Wiederverwendungsaspekten entsteht, stellt dabei den Ausgangspunkt für die an dieser Stelle durchzuführende Planungsaktivität dar. Auf Basis der Abschätzung kann ermittelt werden, ob prinzipiell gleichwertiges Montage- und Prüfequipment aus Vorgängerlinien zur Wiederverwendung bereit steht. Wird sinnvolles und verfügbares Equipment mittels einer digitalen Wiederverwendungsbibliothek identifiziert, so ist in einem zweiten Schritt dessen konkrete Tauglichkeit zu prüfen. Hierbei handelt es sich um eine anspruchsvolle Aufgabe, die nicht immer von einem einzelnen Experten durchgeführt werden kann. Gegebenenfalls müssen unterschiedliche Personen aus unterschiedlichen Bereichen und Disziplinen mit dieser Aufgabe betraut werden. Die Verteilung der Aufgabe ist zu koordinieren und zu steuern. Diese Herausforderung kann prinzipiell mit einer Art Formblatt bewältigt werden.

In Hinblick auf die Formblätter, die zur Bewertung der projektbezogenen Wiederverwendungseignung von Ressourcen benötigt werden, wird der Anspruch erhoben, dass diese in digitaler Form in der digitalen Planungsumgebung verfügbar sind. Auch der überwiegende Teil der Tauglichkeitsuntersuchungen kann im digitalen Umfeld stattfinden. Um Missverständnisse zu vermeiden, sei allerdings darauf hingewiesen, dass eine ausschließliche Bewältigung der Aufgabe im digitalen Umfeld als nicht durchführbar eingestuft wird. Eine Begutachtung des realen Zustandes der Ressourcen ist unabdingbar, zumal die involvierten

Personen mit ihrer Unterschrift für die Eignung des Equipments bürgen. Abbildung 5-6 zeigt wie ein praxisnahes Übersichtsformblatt aussehen könnte.

Fahrzeugprojekt: XX11

Ressourcenummer: SV-1745	Ressourcetyp: Laminiermaschine	Ausgabedatum: 04.05.2009
Verantwortlicher: Müller Klaus	Erklärungen und Abkürzungen: Blatt 3	Blatt Nr.: 1/3

⋮

Wartung & Instandsetzung		Name	Datum	Unterschrift
	Ausgabe an	Meier Katrin	04.05.2009	Meier Katrin
Detaillierte Beschreibung: Formblatt WI1	Rückgabe an	Müller Klaus	14.05.2009	Müller Klaus

Prüfkriterien: - Verfügbarkeit der Ressource — Erfüllt ☒ Bedingt erfüllt ☐ Nicht erfüllt ☐
- Verfügbarkeit von Ersatzteilen — Erfüllt ☒ Bedingt erfüllt ☐ Nicht erfüllt ☐
- ... ...

Notwendige Maßnahmen: - Neuer Wartungsplan
- ...

Geschätzte Gesamtkosten: 1800 €

Bemerkungen:

Wiederverwendungseignung: Erfüllt ☒ Bedingt erfüllt ☐ Nicht erfüllt ☐ Meier Katrin (Unterschrift)

⋮

Arbeitssicherheit		Name	Datum	Unterschrift
	Ausgabe an	Maurer Kay	14.05.2009	Maurer Kay
Detaillierte Beschreibung: Formblatt AS1	Rückgabe an	Müller Klaus	19.05.2009	Müller Klaus

Prüfkriterien: - Sensoren — Erfüllt ☐ Bedingt erfüllt ☐ Nicht erfüllt ☒
- ... ...

Notwendige Maßnahmen: - Austausch der Sensoren
- ...

Geschätzte Gesamtkosten: 5000 €

Bemerkungen: Aktuelle Sensoren entsprechen nicht den heutigen Sicherheitsanforderungen

Wiederverwendungseignung: Erfüllt ☐ Bedingt erfüllt ☒ Nicht erfüllt ☐ Maurer Kay (Unterschrift)

⋮

Abbildung 5-6: Übersichtsformblatt zur Wiederverwendungsplanung

Bei dem Formblatt aus Abbildung 5-6 handelt es sich um ein Übersichtsformblatt, welches zur Evaluierung der Eignung der existierenden Ressource bezüglich des neuen Fahrzeugprojektes herangezogen werden kann. Lediglich die wichtigsten Ergebnisse sind dort zusammengefasst. Die Personen aus den unterschiedlichen Bereichen, die für die Bewertung der Ressource aus einem bestimmten Blickwinkel heraus verantwortlich sind, benötigen ihrerseits jedoch noch genauere Formblätter, aus denen klar hervorgeht, welche Dinge in welcher Weise zu kontrollieren und wie die erzielten Ergebnisse zu bewerten sind. Es kann sogar zweckmäßig sein, eigene Formblätter für bestimmte Ressourceklassen zu erstellen.

Auf Basis eines ausgefüllten Übersichtsformblattes kann eine Entscheidung getroffen werden, ob die in Betracht gezogene Ressource tatsächlich zur Wiederverwendung in Frage kommt und ob diese im fortschreitenden Planungsprozess weiter berücksichtigt wird. Werden letztlich alle nachfolgenden Planungsschritte erfolgreich mit der Ressource absolviert, so steht dem Einsatz der „alten“ Ressource in der „neuen“ Linie nichts mehr im Wege.

Aufgrund des Anspruches, dass ein Großteil der Beurteilungen anhand von digitalen Daten erfolgen soll, wird es als sinnvoll erachtet eine separate Wiederverwendungsbibliothek – welche die vorhandenen Ressourcen aus Vorgängerlinien mitsamt detaillierten Beschreibungen sowie geometrischen Visualisierungen beinhaltet – im digitalen Planungsumfeld zu etablieren. Ferner wird es als sinnvoll erachtet, rechnerunterstützte Auswertungsmöglichkeiten zur Durchführung einer Wiederverwendungsbeurteilung im digitalen Umfeld zu realisieren. Dies sollte, zumindest über einen längeren Zeitraum gesehen, von den Automobilherstellern angestrebt werden. Eine Möglichkeit, die jedoch unmittelbar bei der Einführung der Bibliothek zur Verfügung stehen muss, ist ein Filtermechanismus, der über die Vorgabe bestimmter Parameter eine Vorsortierung bzw. Grobauswahl bezüglich der in der Bibliothek hinterlegten Ressourcen gestattet. Es macht z. B. keinen Sinn, Ressourcen zu betrachten, die zum gewünschten Termin nicht zur Verfügung stehen bzw. die bereits für andere Fahrzeugprojekte „reserviert“ sind. Wie bereits in Abschnitt 2.5 festgestellt, lassen sich über die Wiederverwendung von Ressourcen die Investitionskosten in Montage- und Prüfequipment und somit das Risiko von Fehlinvestitionen reduzieren.

5.2.5 Austaktung und Ressourcebedarfsplanung

Bezüglich der Austaktung und der Ressourcebedarfsplanung sind prinzipiell keine gravierenden Änderungen vorgesehen. In Hinblick auf die Austaktung wird empfohlen ähnlich wie in Abschnitt 3.2.3 beschrieben an die Aufgabe heranzugehen. Allerdings kann im vorliegenden Fall der erzeugte Prozessgraph mitsamt seinen austaktungsrelevanten Informationen berücksichtigt und verarbeitet werden. Das Risiko falscher bzw. unzulässiger Prozessverteilungen auf Werker und Stationen kann dadurch reduziert werden. Ferner kann auch für die als wichtig deklarierten und zur Verfügung stehenden Produktvarianten eine explizite Abdriftuntersuchung pro Station erfolgen, so dass sich transparente Ergebnisse in Hinblick auf die tatsächliche Qualität und Effizienz der vorherigen Austaktung, die auf der Beachtung der

durchschnittlichen Teileverbauzeit basiert, ergeben. Das Risiko der zwischenzeitlichen Favorisierung suboptimaler Lösungen wird dadurch vermindert.

Bei nicht akzeptablen Austaktungsergebnissen sind Optimierungsschleifen einzuleiten. Hierbei kann eine Modifikation des zuvor erstellten PPR-Modells erforderlich werden. Prozesse und zugehörige Ressourcen können evtl. auch variantenspezifisch auf verschiedene Stationen verteilt werden, falls bei der Austaktung festgestellt wird, dass es für bestimmte Produktvarianten Sinn macht, einen Prozess variantenspezifisch in unterschiedlichen Stationen durchzuführen. Erfolgt eine variantenspezifische Aufteilung, so ist der Graph im Nachhinein der neuen Situation anzupassen. Aus Abbildung 5-7 wird ersichtlich, dass bei variantenspezifischen Aufteilungen ein neuer Variantenknoten „Austaktung“ zu benutzen ist, welcher noch nicht diskutiert wurde.

Eine variantenspezifische Aufteilung von Prozessen und gegebenenfalls Ressourcen stellt zwar eindeutig eine Lösungsmöglichkeit bei Austaktungsproblemen dar, diese Möglichkeit sollte jedoch behutsam eingesetzt werden, da einerseits die Anforderungen an die Werker in den Stationen steigen, zudem oftmals die Logistik tangiert wird und es ferner erforderlich werden kann, dass Ressourcen zusätzlich angeschafft werden müssen, was aus Investitionssicht unvorteilhaft ist. Bei variantenspezifischen Prozessaufteilungen steigt die Gesamtkomplexität der Planungsaufgabe und die spätere Arbeitsausführung wird ebenso komplexer.

Das favorisierte Vorgehen, die Austaktung zuerst klassisch unter Beachtung der durchschnittlichen Teileverbauzeit durchzuführen, anschließend eine Variantenauflösung bzw. Abdriftuntersuchung für die als wichtig deklarierten Produktvarianten zu veranlassen und bei Bedarf Optimierungsschleifen einzuleiten, reduziert das Risiko einer suboptimalen Austaktung. Für die Produktvarianten mit angenommen hohen Verkaufszahlen wird auf diese Weise von Anfang an sichergestellt, dass sie effizient produziert werden können. Eine stationsbezogene Betrachtung der Top- und Basisversion, wie in Abschnitt 3.2.3 vorgestellt, erübrigt sich dadurch allerdings nicht.

Die Ressourcebedarfsplanung kann prinzipiell auf den Ergebnissen der Ressourceabschätzung, der Wiederverwendungsplanung sowie der Austaktung aufbauen. Auf Basis der Ergebnisse der Ressourcebedarfsplanung können letztlich genauere Mengen- und Investitionsbetrachtungen durchgeführt werden. In diesem Zusammenhang sollten auch erneut variantenspezifische Kostenkalkulationen erfolgen.

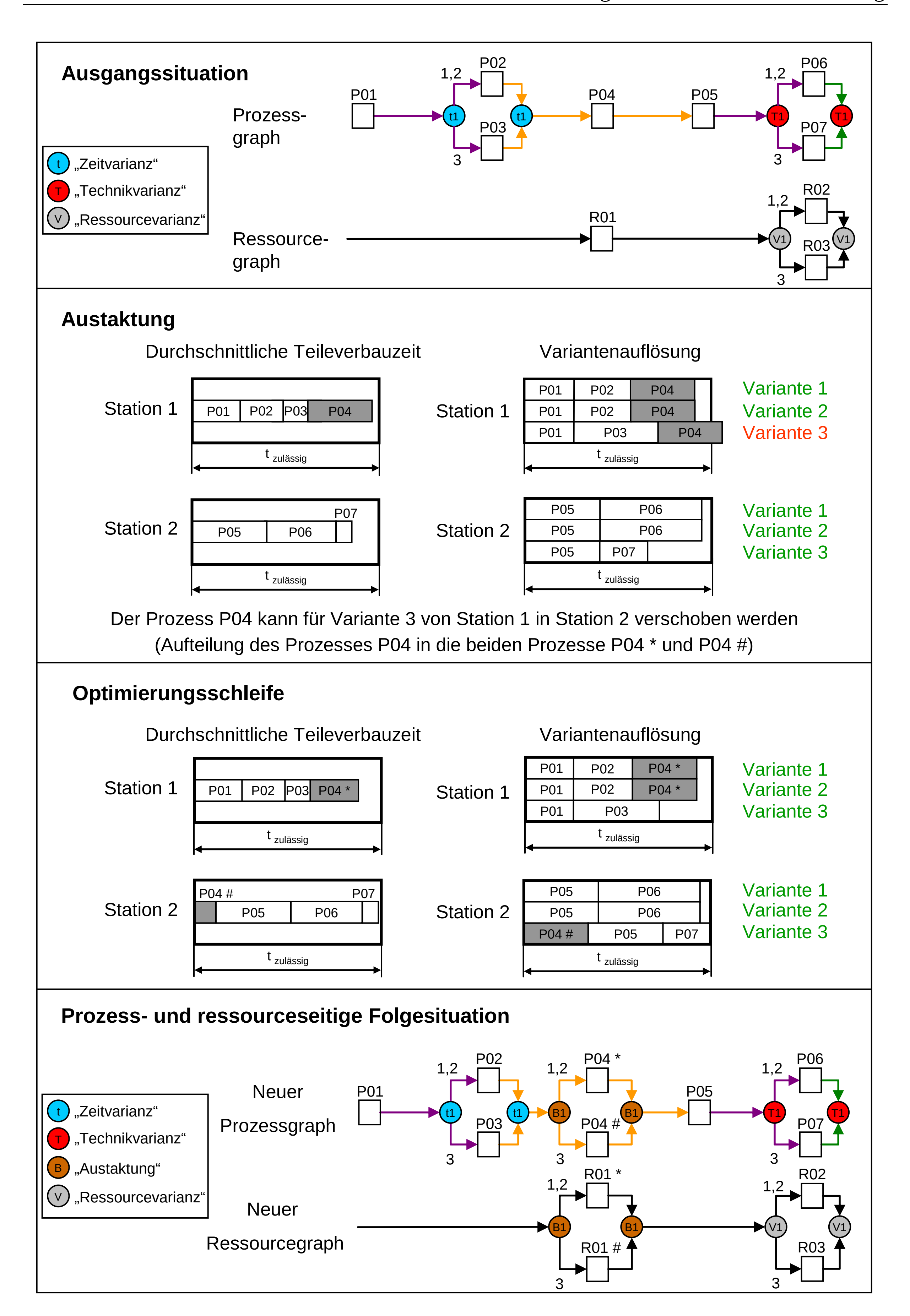


Abbildung 5-7: Variantenspezifische Aufteilung bei der Austaktung und Folgen

5.2.6 Frühzeitige Beurteilung der Volumenflexibilität

Aufbauend auf den Ergebnissen der Austaktung und in Kombination mit der Ressource-bedarfsplanung kann unmittelbar eine Volumenflexibilitätsbetrachtung durchgeführt werden. Bereits in [Reif09] wurden die beiden Extremfälle von falsch prognostizierten Absatzzahlen, die nach SOP zu massiven Problemen führen können, diskutiert. Es wurden prinzipielle Möglichkeiten aufgezeigt, wie bereits im Planungsprozess mit der Thematik der Volumen-flexibilität umgegangen werden kann und welche Möglichkeiten sich generell bei der Planung von Endmontagelinien ergeben, um sich gegen derartige Szenarien abzusichern. Das Potential der identifizierten Lösungsmöglichkeiten wurde bewertet und ferner wurde qualitativ abgeschätzt, welch ein Planungsaufwand und welche Kosten mit den unterschiedlichen Lösungsansätzen einhergehen.

Die Durchführung der Volumenflexibilitätsbetrachtung kann stationsweise erfolgen. Hierbei ist sicherzustellen, dass in jeder Station der Linie ein ähnliches Maß an Volumenflexibilität vorherrscht, da sich ansonsten – analog wie bei der Austaktung – Engpässe ergeben, die im vorliegenden Fall die Volumenflexibilität der Gesamtlinie gefährden.

Tabelle 5-6 und Tabelle 5-7 zeigen einige der prinzipiellen Möglichkeiten zur Volumen-anpassung, die bei den beiden Extremsituationen „Nachfrage nach SOP viel höher als ursprünglich angenommen“ (Tabelle 5-6) und „Nachfrage nach SOP viel geringer als ursprünglich prognostiziert“ (Tabelle 5-7), in Abhängigkeit von der betrachteten Station und dem Stationstyp, bestehen. Es ist prinzipiell angebracht zwischen den folgenden drei Stationsarten zu differenzieren:

- Manuelle Station (keine nennenswerten Ressourcen im Einsatz)
- Teilautomatische Station (Mensch und Ressource in Interaktion)
- Automatische Station (kein Arbeiter im Arbeitsbereich)

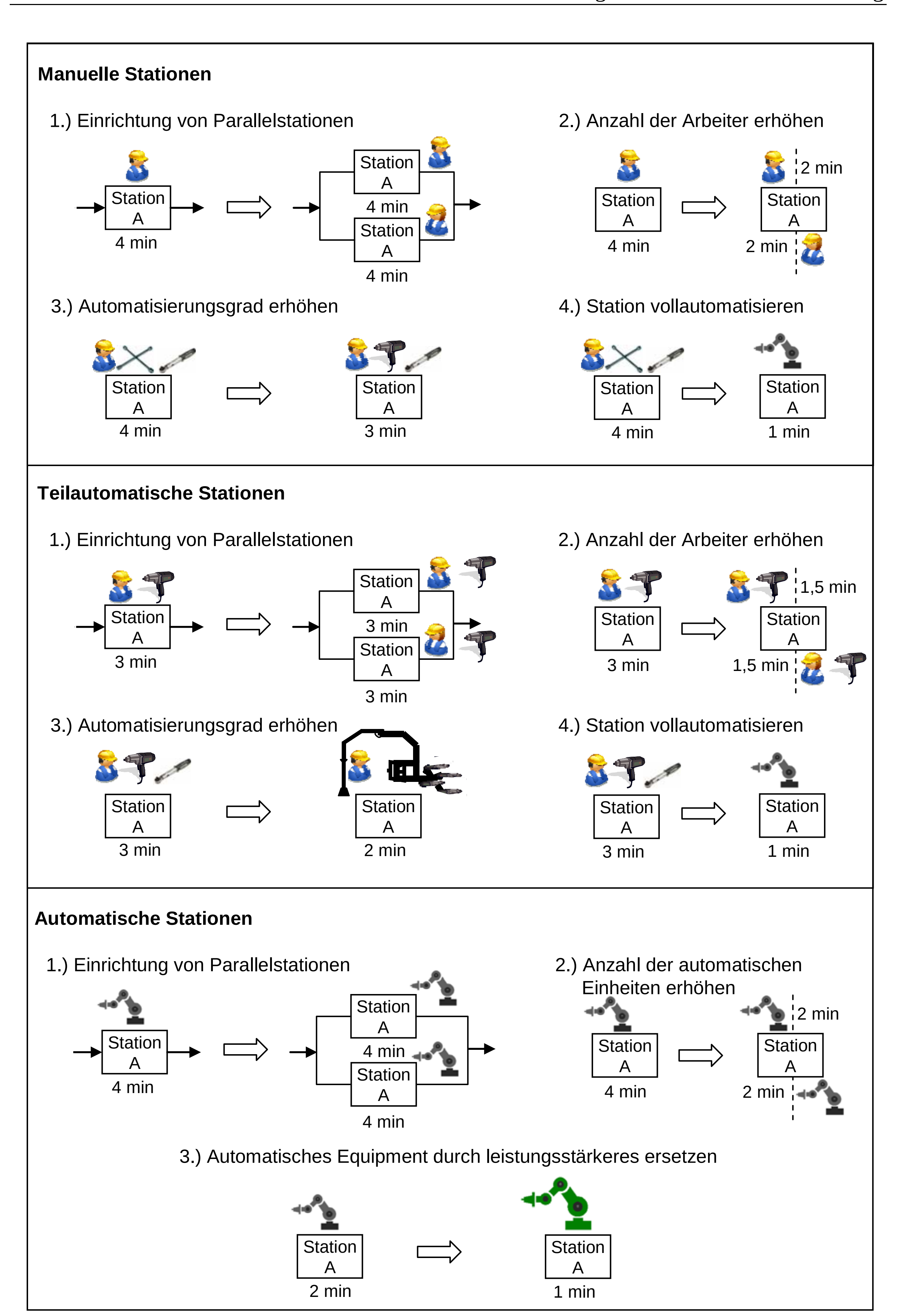


Tabelle 5-6: Exemplarische Möglichkeiten zur stationsbezogenen Volumensteigerung

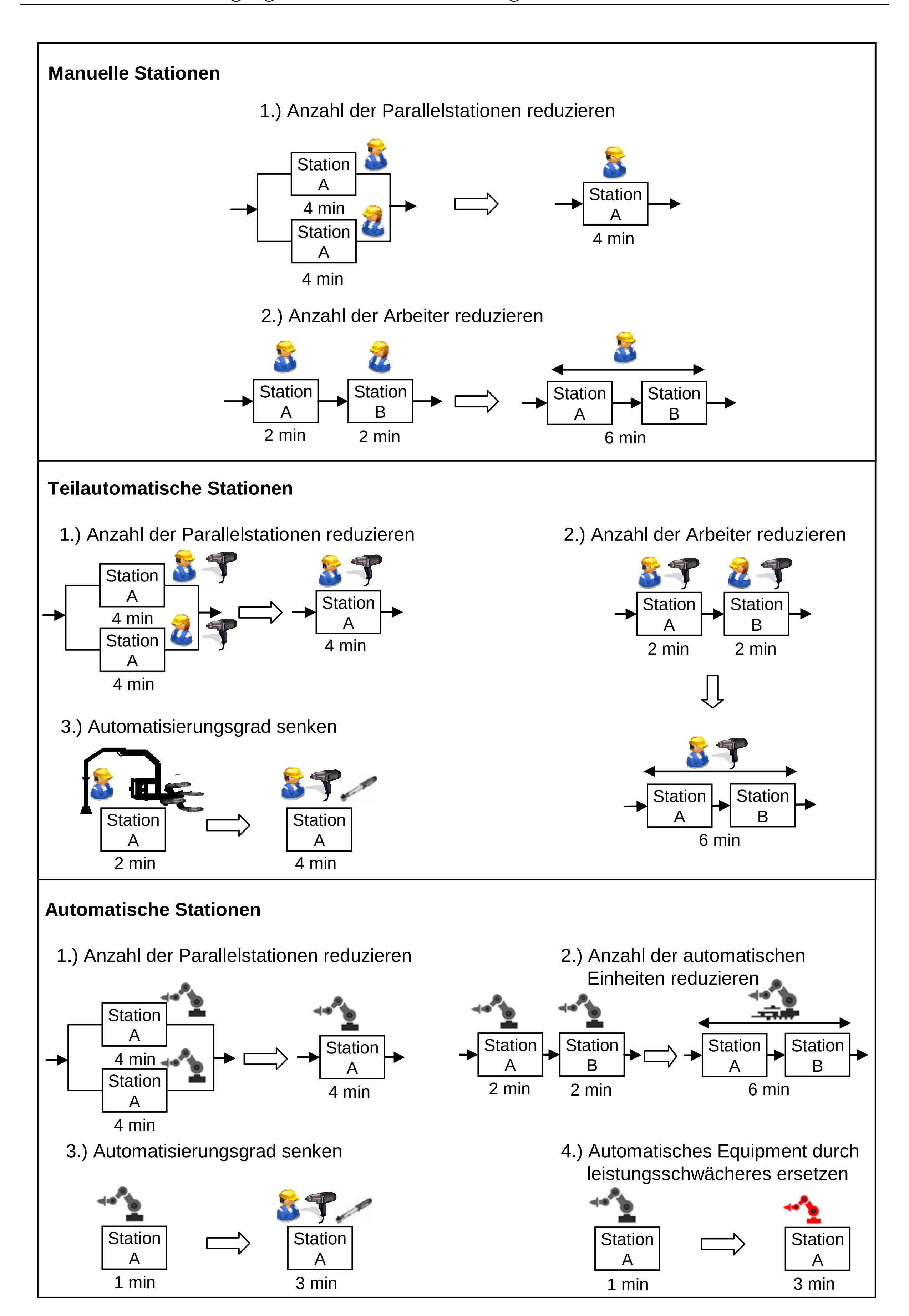


Tabelle 5-7: Exemplarische Möglichkeiten zur stationsbezogenen Volumenreduzierung

Generell gibt es für beide Nachfragefälle geeignete Maßnahmen, die während der Planungsphase erarbeitet werden können, um im Bedarfsfall schnell wirkungsvolle Änderungen zu erzielen. Abbildung 5-8 zeigt, wie die ermittelten Ergebnisse der Volumenflexibilitätsbetrachtung abschließend von den Planungsexperten zur Information von Entscheidungsverantwortlichen zu dokumentieren sind. Ein zu hoher Detaillierungsgrad ist bei der Übersichtsdarstellung der Endergebnisse nicht erwünscht. Die detaillierten Ergebnisse sind gesondert zu verwalten.

Station: ___________ **Verantwortlicher:** ___________

Stationsinhalte: ___________ **Datum:** ___________

Möglichkeit 1 zur Ausbringungsanpassung: __________________________

Prozentuale Veränderung der Ausbringung: __________________________

Im Vorfeld entstehende Kosten: __________________________

Bei Realisierung entstehende Kosten: __________________________

Zu erwartende Umbauzeit/Stillstandszeit: __________________________

Möglichkeit 2 zur Ausbringungsanpassung: __________________________

Prozentuale Veränderung der Ausbringung: __________________________

Im Vorfeld entstehende Kosten: __________________________

Bei Realisierung entstehende Kosten: __________________________

Zu erwartende Umbauzeit/Stillstandszeit: __________________________

…

Abbildung 5-8: Vorgehen zur Dokumentation der Volumenflexibilitätsbetrachtung

Im Prinzip geht es darum, für beide Extremfälle bereits Lösungsansätze erarbeitet zu haben, auch wenn die betrachteten Extremsituationen evtl. gar nicht eintreten. Dies bedeutet mitunter allerdings auch, dass an einigen Positionen der Linie zusätzlicher Platz, evtl. zusätzliche Anschlüsse etc. vorgehalten werden müssen und teilweise flexible bzw. änderbare oder

zumindest austauschbare Ressourcen zum Einsatz kommen müssen, damit bei Bedarf die planerischen Maßnahmen tatsächlich schnell und effizient umsetzbar sind.

Von den Planern ist zur Sicherstellung einer gewissen Volumenflexibilität eindeutig ein planerischer Mehraufwand zu erbringen. Allerdings ist es jedem Automobilhersteller selbst überlassen, inwieweit er sich in diese Richtung absichern möchte und welchen zusätzlichen Preis er gewillt ist für diese zusätzliche Sicherheit zu zahlen. Begleitende Kostenkalkulationen sind bei der Durchführung der Volumenflexibilitätsbetrachtung unabdingbar. Bei dem präsentierten Ansatz ist das Risiko, auf unerwartete Extremsituationen nach SOP nicht schnell und angemessen genug reagieren zu können, reduziert.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass es letztlich sicherlich nicht ausreicht lediglich für die Endmontageplanung eine Volumenflexibilitätsbetrachtung durchzuführen. Auch in anderen Gewerken muss eine Volumenflexibilität bestehen. Die komplette Fahrzeugproduktion muss schnell an die unerwartete Nachfragesituation nach SOP angepasst werden können. Auch die Zulieferer müssen auf diesem Gebiet Fortschritte machen, da eine volumenflexible Produktionslinie eine volumenflexible Teileversorgung voraussetzt.

5.2.7 Digitale Absicherungen

Bezüglich der digitalen Absicherungen sind keine gravierenden Änderungen vorgesehen. Für die digitalen Absicherungen stehen ebenfalls die Informationen über die als wichtig eingestuften Produktvarianten bereit, die im Rahmen dieser Planungsaktivität überprüft werden können. Bei den als wichtig deklarierten Produktvarianten ist es nun jedoch so, dass im Speziellen die als kritisch eingestuften Varianten im Vordergrund stehen. In Summe reicht es jedoch nicht, nur die als wichtig deklarierten Produktvarianten teilweise bzw. ganz abzusichern; zusätzlich müssen weitere Produktvarianten in Betracht gezogen werden. Eine Absicherung der kompletten Menge an Fahrzeugen, die marktrelevant sind, ist jedoch auch im Rahmen des neuen Konzeptes aufgrund des Aufwandes und der Kosten nicht vorgesehen.

6 Prototypische Umsetzung des Konzeptes an einem Beispiel

In diesem Kapitel wird die Planung eines Abschnittes einer neuen Endmontagelinie für eine neue Baureihe diskutiert, welche sich durch ein hohes Spektrum an Fahrzeugvarianten auszeichnet. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht der Bereich der Türenvormontage. Das Besondere an dem ausgewählten, fiktiven Beispiel ist, dass nicht nur unterschiedliche Türen der normalen PKW-Sparte in dem Vormontagebereich aufgebaut, sondern auch gepanzerte Sonderbauten berücksichtigt werden sollen. Im vorliegenden Fall sollen alle Türvarianten im gleichen Montagebereich ohne große Taktzeitschwankungen vormontiert werden. Dieser Sachverhalt stellt aus Planungssicht eine gewisse Herausforderung dar.

Um Planungstransparenz zu schaffen und auch dem Aspekt der Wiederverwendung von Ressourcen sowie der Thematik der Volumenflexibilität bestmöglich Aufmerksamkeit zu schenken, werden die in Kapitel 5 gezeigten Ansätze verwendet.

6.1 Vorstellung des Praxisbeispiels

6.1.1 Betrachtungsgegenstand

Drei gänzlich unterschiedliche Varianten an Fahrertüren müssen in dem gewählten Beispiel berücksichtigt und sinnvoll in eine gemeinsame Vormontagelinie eingeplant werden. Folgende drei Hauptvarianten gilt es zu berücksichtigen: normale Fahrertüren, leicht gepanzerte Fahrertüren sowie schwer gepanzerte Fahrertüren. Die jeweiligen Fahrertüren können zusätzlich vom Kunden mit individueller Sonderausstattung geordert werden. Der Kunde kann sich beispielsweise für eine Funkfernbedienung, elektrische Fensterheber sowie elektrische Außenspiegel entscheiden. Abbildung 6-1 zeigt den Betrachtungsgegenstand und verdeutlicht zudem, dass eine Fahrzeugtür generell aus einem lackierten Rohbauteil besteht, welches in der Endmontage entsprechend dem Kundenwunsch zu einer funktionsfähigen, verkaufbaren Untereinheit des Fahrzeuges aufgewertet wird.

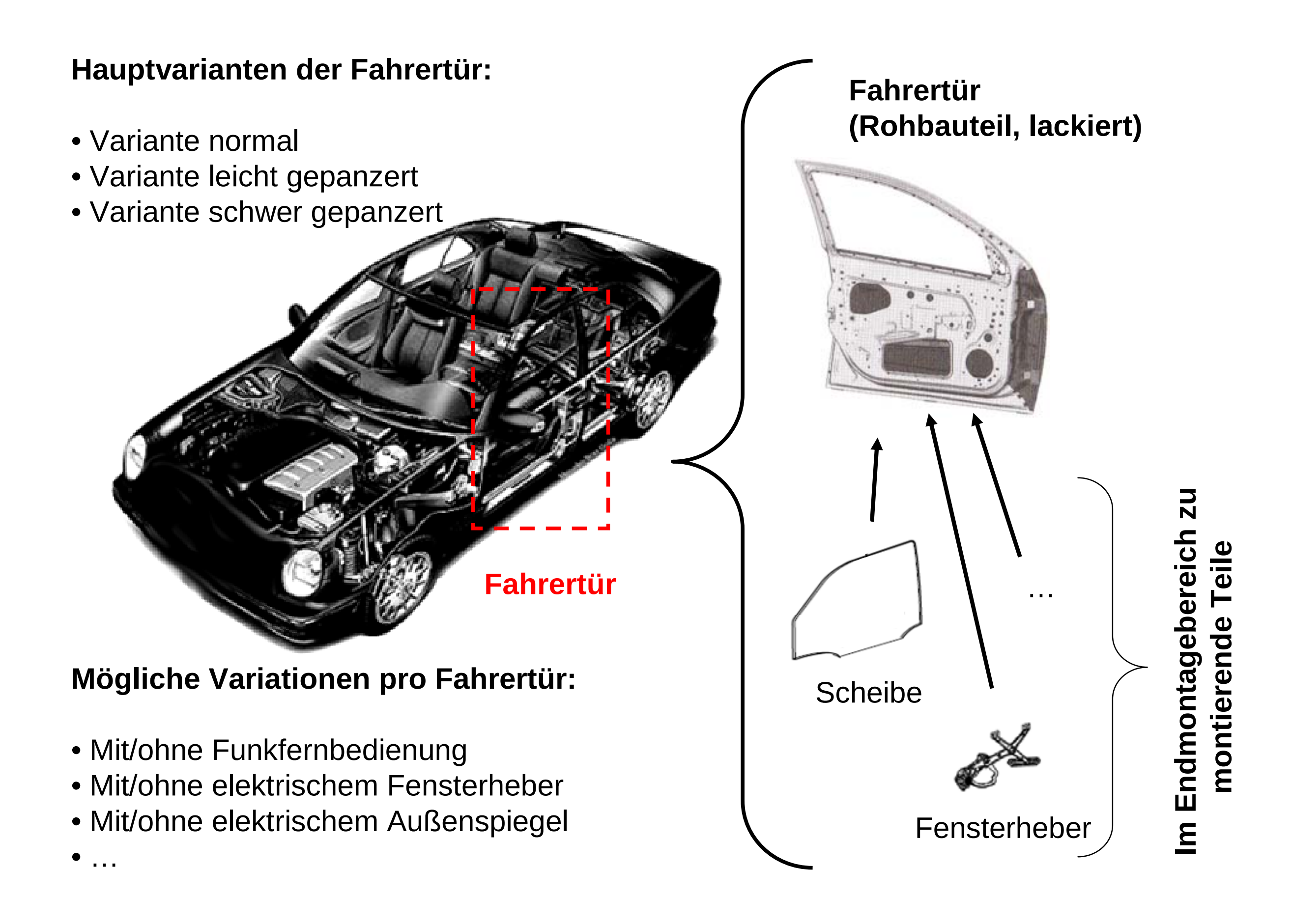


Abbildung 6-1: Betrachtungsgegenstand „Fahrertür“ nach [RüSa09]

Auf die im Praxisbeispiel zu berücksichtigenden Teile sowie die sich daraus ergebende Produktvarianz wird im nächsten Abschnitt eingegangen. Es sei angemerkt, dass zur Erstellung des Praxisbeispiels reale Fahrertüren begutachtet und zum Teil demontiert wurden, damit realitätsnahe Annahmen bezüglich der Montagerestriktionen etc. getroffen werden konnten.

6.1.2 Produktdetails

Fahrertüren bestehen üblicherweise aus einer Vielzahl von Bauteilen. Im vorliegenden Fall müssen über 50 Teile berücksichtigt werden, wobei allerdings eine nicht zu vernachlässigende Anzahl an Teilen Alternativteile sind. Die vorhandene Teilevarianz wird aus Abbildung 6-2 ersichtlich. Ferner sind dort auch bereits die als wichtig deklarierten und explizit zu beplanenden Türvarianten erkennbar. Weitere Details zu den Komponenten der Fahrertür und deren Verbauraten finden sich in Anhang A, Abbildung A-1.

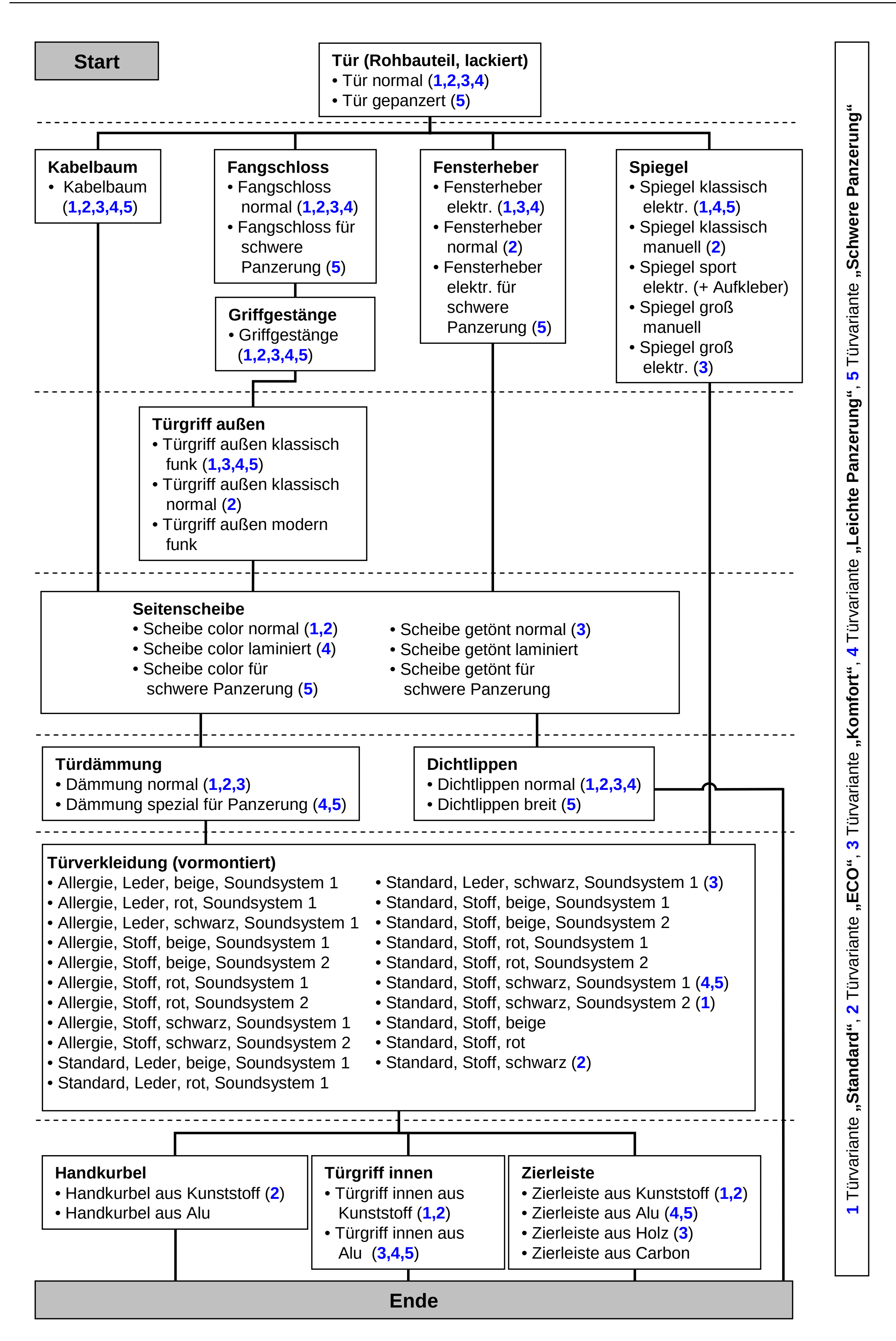


Abbildung 6-2: Produktseitige Ausgangssituation

Fünf Türvarianten sollen auf Basis der neuen graphenbasierten Herangehensweise beplant werden. Die Türvariante „Standard“ ist die Variante mit der höchsten prognostizierten Verkaufszahl und somit die wichtigste Türvariante für den frühen Planungsprozess. Die Türvarianten „Eco“ und „Komfort“ sind die Varianten mit der zweit- bzw. dritthöchsten prognostizierten Verkaufszahl. Die Türvarianten „Leichte Panzerung“ bzw. „Schwere Panzerung“ gehören in diesem Beispiel hingegen zur Gruppe der kritischen Varianten und müssen ebenfalls explizit betrachtet werden. Aus Abbildung 6-2 wird ersichtlich, welche unterschiedlichen Teile bei den fünf Türvarianten zu verbauen sind.

Um den Planungsprozess starten zu können, wird allerdings noch eine Montagereihenfolge benötigt, die den Prozess- bzw. Ressourceplanern als Anhaltspunkt zur einheitlichen Graphenerstellung dient. Da Abbildung 6-2 eine Art Vorranggraph darstellt, lässt sich aus diesem einfach eine realisierbare Montagereihenfolge ableiten. Abbildung 6-3 zeigt die Montagereihenfolge, die für das zu untersuchende Beispiel ausgewählt wurde.



Abbildung 6-3: Gewählte Montagereihenfolge

In diesem Szenario beginnt die Türenmontage mit dem Aufnehmen und Fixieren der zu bestückenden Tür in einer dafür vorgesehenen Vorrichtung, die auch den Transport durch den Türmontagebereich sicherstellt. Nachfolgend muss eine Vielzahl an Einzelkomponenten, wie z. B. der Kabelbaum, das Fangschloss, das Griffgestänge etc., montiert werden. Die Zierleiste stellt das letzte Bauteil dar, welches an der Tür anzubringen ist. Das Entnehmen der Tür aus der Aufnahmevorrichtung fällt nicht mehr unter den zu planenden Bereich – dies geschieht unmittelbar in der Hauptlinie, in dem Bereich „Türen anschlagen“.

Abbildung 6-2 und Abbildung 6-3 beinhalten bereits viele Grunddaten, die zum Start des Planungsprozesses erforderlich sind. Um mit einer Prozess- und Ressourceplanung beginnen

zu können, werden aber noch zusätzliche Informationen über die Teile benötigt – zumindest dann, wenn eine Bauteilvisualisierung nur bedingt möglich ist. Im vorliegenden Fall wurden partiell reale Teile begutachtet und es wurde teilweise auf Beschreibungen zurückgegriffen.

6.2 Verwendete Planungssoftware

Im Rahmen dieser Arbeit wurde mit Planungssoftware der Firma Dassault Systèmes gearbeitet. Sowohl das Tool DELMIA Process Engineer (DPE) als auch das Tool Automatic Line Balancing (ALB) wurden verwendet. Wie schon in [Zenn06] und [Kief07] beschrieben, bieten die DELMIA Anwendungen entscheidende Vorteile gegenüber anderen auf dem Markt befindlichen Konkurrenzprodukten. Die kommerzielle Standardsoftware kann verhältnismäßig einfach benutzerspezifisch angepasst werden. Eigene Planungstypensätze können generiert, spezielle Skriptanweisungen verfasst und bedarfsgerecht Filter angelegt werden.

In einem ersten Schritt konnte prinzipiell auf einen am Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM vorhandenen Planungstypensatz aufgebaut werden. Um die Austaktungssoftware nutzen zu können, wurde später jedoch auf einen anderen Planungstypensatz zurückgegriffen, der in Zusammenarbeit mit der Cenit AG erneut an die vorherrschenden Bedürfnisse angepasst wurde. Darüber hinaus wurden im Rahmen des EU-Projektes MyCar weitere wichtige Modifikationen – im Speziellen in Bezug auf den Prozessgraph – durchgeführt. Von der Cenit AG wurde ein Script entwickelt und integriert, welches die systemseitige Auswertung der Variantenknoten erlaubt. Nach jetzigem Stand können die in Abschnitt 5.2.2 und Abschnitt 5.2.3 gezeigten Prozess- und Ressourcegraphen mit ihren speziellen Graphenelementen erzeugt werden. Ferner kann die Austaktung ebenfalls in der digitalen Umgebung mitsamt der in Abschnitt 5.2.5 beschriebenen Variantenauflösung durchgeführt werden. Abbildung 6-4 zeigt die Ausgangssituation zum Start der Prozessplanung im digitalen Umfeld.

Wie aus Abbildung 6-4 ersichtlich, stehen zur Prozessplanung alle Informationen zur Teilevarianz und zur vorerst zu berücksichtigenden Montagereihenfolge zur Verfügung. Ferner wurde über die Vergabe von so genannten Labelfiltern sichergestellt, dass die Produktstruktur ohne hohen Aufwand nach den fünf Türvarianten aus Abschnitt 6.1.2 aufgelöst werden kann. Bei Aktivierung eines Filters sind nur noch die spezifischen Teile der selektierten Produktvariante dargestellt.

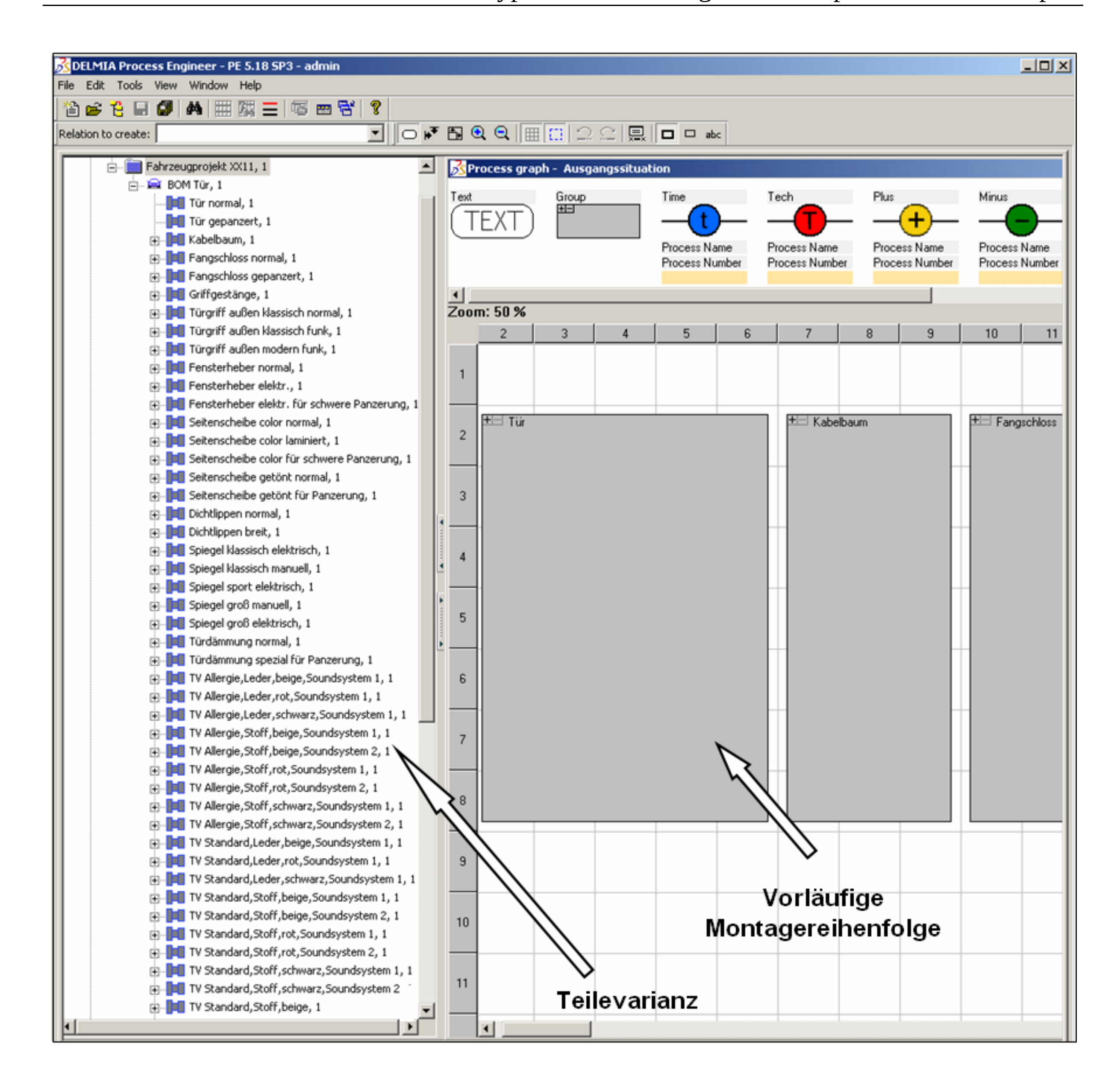


Abbildung 6-4: Ausgangssituation zum Start der digitalen Prozessplanung (DPE)

6.3 Ergebnisse der Prozessplanung – Prozessgraph

Gemäß den in Abschnitt 5.2.2 definierten Regeln wurde für die als wichtig deklarierten Produktvarianten des Praxisbeispiels schrittweise ein Prozessgraph aufgebaut. Zuerst wurde die Prozessfolge für die Referenzvariante erzeugt und anschließend die weiteren als wichtig eingestuften Produktvarianten berücksichtigt. Wie aus Abbildung 6-5 hervorgeht, ergibt sich für die fünf Produktvarianten bereits ein komplexer Prozessgraph. Details zu den Montageprozessen finden sich in Anhang A, Tabelle A-1 und A-2.

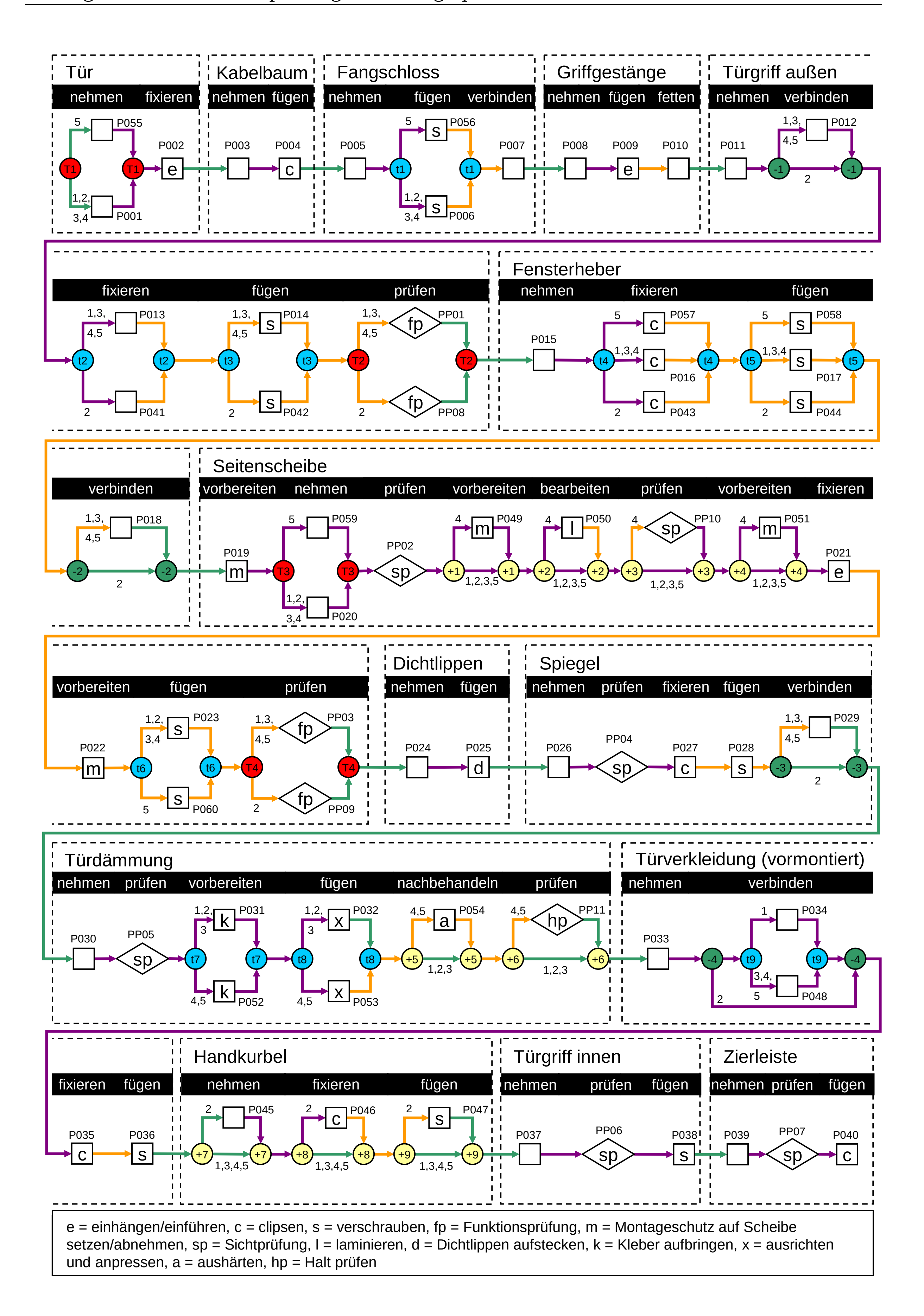


Abbildung 6-5: Prozessgraph für die explizit zu beplanenden Türvarianten

Der Graph beinhaltet in Summe 71 Prozesse und 26 öffnende und schließende Variantenknoten. Bei der genannten Zahl an öffnenden und schließenden Variantenknoten handelt es sich konkret um vier öffnende und schließende Variantenknoten vom Typ „Technikvarianz“, um neun vom Typ „Zeitvarianz“, um vier vom Typ „Subtraktion“ sowie um neun vom Typ „Addition“. Folglich sind alle Arten von Variantenknoten aus Abschnitt 5.2.2 vertreten.

Aufgrund der Variantenknoten können die prozessseitigen Unterschiede der Produktvarianten schnell und einfach erfasst werden. Der für die Erstellung des Prozessgraphen verantwortliche Planer wird beim Planungsprozess transparent unterstützt, und auch nicht direkt am Planungsprozess beteiligte Dritte haben die Möglichkeit sich schnell im gezeigten Prozessgraph zurechtzufinden. Die Planungsergebnisse sind transparent und nachvollziehbar dargestellt, so dass das Risiko von Fehlinterpretationen gering ist.

Hinzu kommt, dass stark variantenbehaftete und somit vermeintlich kritische Bereiche verhältnismäßig schnell und einfach bereits auf visuellem Wege im Graph zu identifizieren sind. Im Bereich der Montage der Türdämmung wird z. B. unmittelbar ersichtlich, dass zwei Zusatzprozesse (P054 und PP11) benötigt werden, die nicht für die Varianten mit hohen Verkaufsprognosen erforderlich sind. Bei Beachtung der Prozesszeiten ergibt sich, dass die beiden Zusatzprozesse zeitintensiv sind (P054 = 0,75 min, PP11 = 0,50 min). Ferner wird ersichtlich, dass die Prozesse P030, PP05, P031, P032 bzw. die Prozesse P030, PP05, P052, P053 nacheinander und untrennbar auszuführen sind. Bei erneuter Beachtung der Prozesszeiten zeigt sich, dass auch in diesem Bereich deutliche zeitliche Unterschiede bezüglich normaler und gepanzerter Fahrertüren vorliegen (P030 + PP05 +P031 + P032 = 1,50 min; P030 + PP05 + P052 + P053 = 2,35 min). Bei einer vollständigen Montage der Türdämmung in einer Station sind somit Austaktungsschwierigkeiten abzusehen.

Abbildung 6-6 zeigt den angesprochenen Bereich der Montage der Türdämmung nochmals in der Art, wie er in der digitalen Umgebung von DPE dargestellt wird. Da es nur bedingt möglich ist qualitativ hochwertige Screenshots in DPE (dies gilt übrigens auch für ALB) zu erzeugen, wurden die Bildschirmfotos bedarfsgerecht nachbearbeitet – ohne relevante Sachverhalte zu ändern. In der digitalen Umgebung von DPE können zusätzlich auch zeitliche Prozessunterschiede mitdokumentiert werden, was die Identifikation von zeitkritischen variantenbehafteten Bereichen im Graphen vereinfacht.

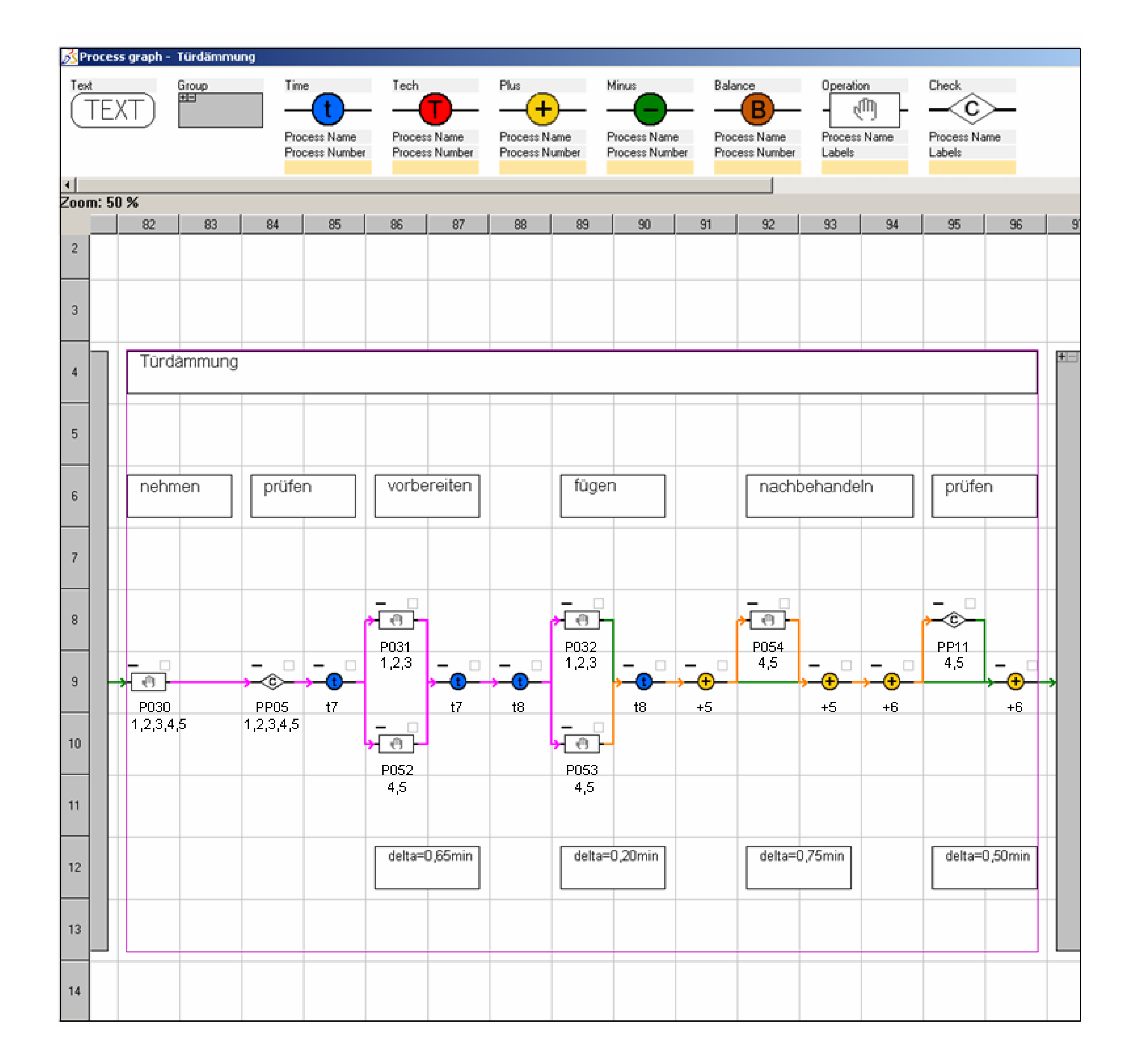


Abbildung 6-6: Bereich der Montage der Türdämmung (Prozessgraph, DPE)

In der Praxis könnte für den Bereich der Montage der Türdämmung umgehend nach Verbesserungsmöglichkeiten gesucht werden. Im vorliegenden Fall wird jedoch die Entscheidung getroffen, keine Maßnahmen einzuleiten, um die Folgen bei der Austaktung aufzeigen zu können. In Abschnitt 6.5 wird sich ferner noch zeigen, dass sich die zeitlichen Abweichungen unter den Türvarianten bei der Montage der Türdämmung auch über variantenspezifische Prozessaufteilungen und Prozessverschiebungen beherrschen lassen.

Teile, die nicht zum Umfang der als wichtig deklarierten Produktvarianten gehören und für die folglich im Rahmen der graphenbasierten Planung keine Prozesse erstellt bzw. zugeordnet wurden, mussten in einem Folgeschritt auf klassische Weise prozessseitig betrachtet werden.

Im vorliegenden Praxisbeispiel konnten den verbliebenen Teilen überwiegend bereits bestehende Prozesse zugeordnet werden. Lediglich vier zusätzliche neue Prozesse mussten erzeugt werden (vgl. Anhang A, Tabelle A-2). Ferner sei darauf hingewiesen, dass bei der Erstellung der Prozesse generell auch die Ressourcethematik mitberücksichtigt wurde. Bei einem sich abzeichnenden Ressourcebedarf ist dieser umgehend prozessseitig in einer Notiz festgehalten worden.

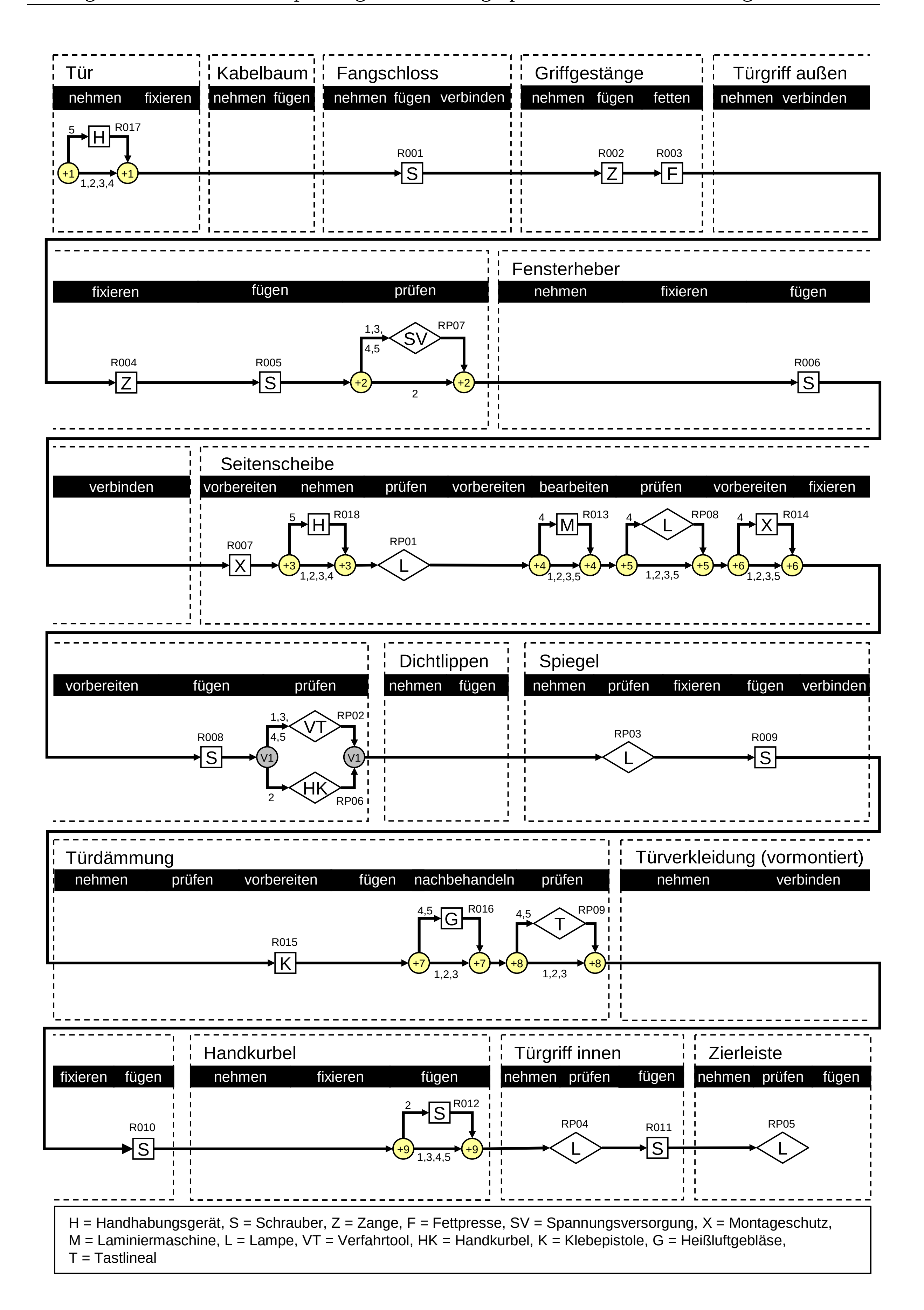
Da auch prozessseitig eine Vergabe von Labelfiltern erfolgte, kann nachträglich ohne Aufwand einzeln nach den fünf Türvarianten mitsamt den zugehörigen Montageprozessen aufgelöst werden. Darüber hinaus können verschiedene Filter gleichzeitig aktiviert werden, so dass ebenfalls ohne nennenswerten Aufwand ein direkter visueller Vergleich unter verschiedenen Produktvarianten möglich ist. Der in Abbildung 6-5 dargestellte Prozessgraph zeigt letztlich alle prozessseitigen Unterschiede, die bei den fünf explizit berücksichtigten Türvarianten bestehen.

Die Übersichtlichkeit des Graphen bietet einen sehr guten Ausgangspunkt zur Identifikation problematischer Bereiche und kann als Entscheidungs- und Argumentationsgrundlage herangezogen werden. Die vorgestellte graphenbasierte Planung liefert somit einen Beitrag zur Risikoidentifikation und -reduzierung im Bereich der Prozessplanung.

6.4 Ergebnisse der Ressourceplanung – Ressourcegraph und Wiederverwendung

Gemäß den in Abschnitt 5.2.3 definierten Regeln wurde für den Prozessgraph aus Abschnitt 6.3 ein Ressourcegraph erstellt. Wie in Abbildung 6-7 ersichtlich, ist die ressourceseitige Varianz merklich geringer als die vorhandene Prozessvarianz.

Der Graph beinhaltet in Summe 27 Ressourcen und 10 öffnende und schließende Variantenknoten. Bei der genannten Zahl an öffnenden und schließenden Variantenknoten handelt es sich konkret um neun öffnende und schließende Variantenknoten vom Typ „Addition“ sowie um ein Variantenknotenpaar vom Typ „Ressourcevarianz“. Lediglich eine Art von Variantenknoten ist nicht vertreten: der Variantenknoten „Subtraktion“.



H = Handhabungsgerät, S = Schrauber, Z = Zange, F = Fettpresse, SV = Spannungsversorgung, X = Montageschutz, M = Laminiermaschine, L = Lampe, VT = Verfahrtool, HK = Handkurbel, K = Klebepistole, G = Heißluftgebläse, T = Tastlineal

Abbildung 6-7: Ressourcegraph für die explizit zu beplanenden Türvarianten

Auch für den Ressourcegraph gilt, dass die Planungsergebnisse transparent und nachvollziehbar in dem Graphen dargestellt sind. Ebenso können stark variantenbehaftete und somit vermeintlich kritische Bereiche, analog wie bei dem Prozessgraphen aus Abbildung 6-5, verhältnismäßig schnell und einfach visuell identifiziert werden. Wird erneut der Bereich der Montage der Türdämmung betrachtet (vgl. Abbildung 6-8), so wird ersichtlich, dass die Türvarianten 4 und 5 spezielle Ressourcen benötigen, die nicht für die Varianten mit hohen Verkaufsprognosen erforderlich sind. Dies ist von vorneherein als suboptimal einzustufen.

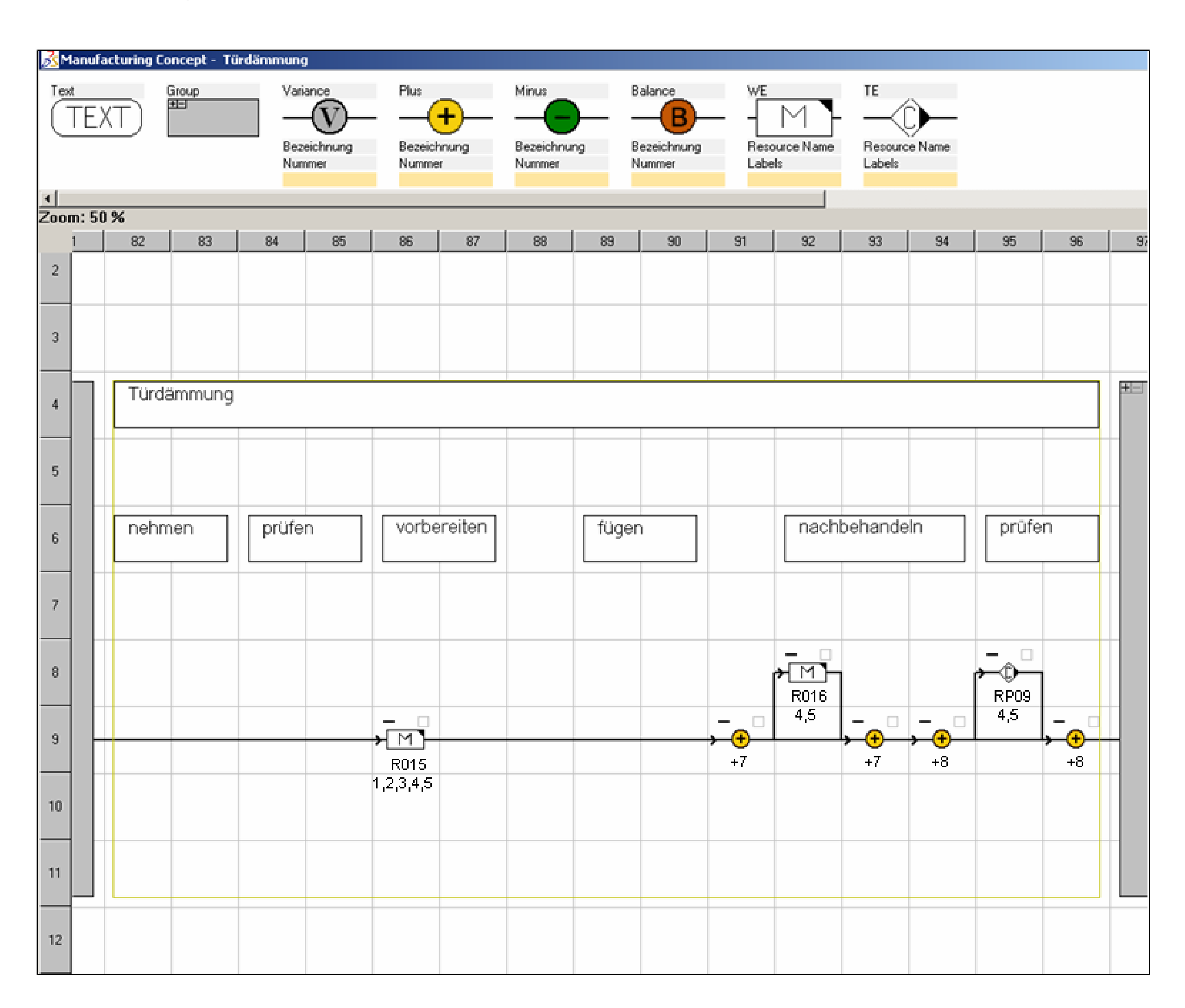


Abbildung 6-8: Bereich der Montage der Türdämmung (Ressourcegraph, DPE)

Werden aber die erforderlichen Investitionssummen für das Heißluftgebläse (R016: 300,00 €) und das Tastlineal (RP09: 20,00 €) betrachtet, so zeigt sich, dass diese Kosten eher zu vernachlässigen sind. Tabelle 6-1 gibt darüber Aufschluss, mit welchen Investitionskosten bei einer kompletten Neuanschaffung von Arbeitsmitteln zu rechnen ist.

Im Graphen enthaltene Ressourcen

Ressource	Beschreibung	Kosten	Gesamtkosten-anteil
R017	Handhabungsgerät	7.500,00 €	7,81%
R001	Schrauber (Sechskant, M8)	420,00 €	0,44%
R002	Spitzzange (200 mm)	25,00 €	0,03%
R003	Fettpresse	48,00 €	0,05%
R004	Spitzzange (150 mm)	25,00 €	0,03%
R005	Schrauber (Inbus, M5)	120,00 €	0,12%
RP07	Spannungsversorgung 12V mit Stecker für Türgriff	100,00 €	0,10%
R006	Schrauber (Inbus, M5)	120,00 €	0,12%
R007	Montageschutz	150,00 €	0,16%
R018	Handhabungsgerät	4.000,00 €	4,16%
RP01	Tageslichtlampe (1000 mm, beweglich)	1.000,00 €	1,04%
R013	Laminiermaschine	70.000,00 €	72,85%
RP08	Tageslichtlampe (1000 mm, beweglich)	1.000,00 €	1,04%
R014	Montageschutz	150,00 €	0,16%
R008	Schrauber (Sechskant, M6)	350,00 €	0,36%
RP02	Verfahrtool (inklusive Einklemmschutztest)	2.500,00 €	2,60%
RP06	Handkurbel ohne Einrastfunktion	30,00 €	0,03%
RP03	Tageslichtlampe (500 mm)	400,00 €	0,42%
R009	Schrauber (Inbus, M5)	120,00 €	0,12%
R015	Klebepistole mit Bereitstellung Kleber im Fass	5.900,00 €	6,14%
R016	Heißluftgebläse	300,00 €	0,31%
RP09	Tastlineal	20,00 €	0,02%
R010	Schrauber (Inbus, M3)	120,00 €	0,12%
R012	Schrauber (Inbus, M5)	120,00 €	0,12%
RP04	Tageslichtlampe (500 mm)	400,00 €	0,42%
R011	Schrauber (Inbus, M5)	120,00 €	0,12%
RP05	Tageslichtlampe (500 mm)	400,00 €	0,42%

Zusätzlich benötigte Ressourcen zum Verbau bzw. zur Prüfung bestimmter nicht im Graphen berücksichtigter Teile

Ressource	Beschreibung	Kosten	Gesamtkosten-anteil
R019	Schrauber (Inbus, M4) [Türgriff außen modern funk]	120,00 €	0,12%
R020	Montagehilfe Aufkleber [Spiegel sport elektr.]	130,00 €	0,14%
RP10	Tageslichtlampe (500 mm) [Handkurbel aus Alu]	400,00 €	0,42%

Tabelle 6-1: Investitionskosten für neue Ressourcen (Ressourceabschätzung)

Der Gesamtinvestitionsbetrag in neue Arbeitsmittel beträgt laut der ersten Ressourceabschätzung 96.088,00 €, wobei zudem auch noch mit weiteren kostspieligen Investitionen – z. B. in ein Aufnahme- und Fördersystem zum Transport der Tür entlang der Montagelinie, in Logistikequipment und in weitere Stationsausstattung – zu rechnen ist.

Speziell für die teuren Ressourcen aus Tabelle 6-1 macht es Sinn eine Wiederverwendung von bestehendem Equipment in Betracht zu ziehen. Für das Beispiel der Türenmontage wurde

prototypisch eine Wiederverwendungsplanung in der digitalen Umgebung von DPE durchgeführt. Auf Basis einer Wiederverwendungsbibliothek können dort hinterlegte Ressourcen bei entsprechender Eignung mit den aus der Ressourceabschätzung resultierenden Arbeitsmitteln verknüpft werden. Bei der Verknüpfung der Ressourcen kann auch eine Reservierung für das Fahrzeugprojekt stattfinden. Abbildung 6-9 zeigt die erstellte Wiederverwendungsbibliothek und das zuvor geschilderte Vorgehen der Ressourcezuweisung. Im digitalen Umfeld können ferner erforderlich werdende Ressourceanpassungen mitsamt deren Kosten dokumentiert werden.

Bei einer konsequenten Nutzung der vorhandenen, in der Bibliothek hinterlegten Ressourcen würde sich ein um ca. 80% geringerer Investitionsbedarf in direkte Arbeitsmittel auf dem Stand der frühen Ressourceabschätzung ergeben. Allein durch die Vermeidung der Neuanschaffung der Ressourcen R017, R018, R015 und R013 lässt sich in diesem Beispiel eine signifikante Investitionseinsparung realisieren (siehe Tabelle 6-1).

In Bezug auf die Ressourceabschätzung sei erwähnt, dass die Prozesse, die nicht zum Umfang der fünf explizit berücksichtigten Türvarianten gehören und für die folglich im Rahmen der graphenbasierten Planung keine Ressourcen erstellt wurden, in einem Folgeschritt auf klassische Weise ressourceseitig berücksichtigt wurden (vgl. Tabelle 6-1, unterer Abschnitt). Das Ergebnis der Ressourceabschätzung muss jedoch als vorläufig angesehen werden, da der eigentliche Ressourcebedarf erst nach der Austaktung mit hinreichender Sicherheit feststeht.

Da auch ressourceseitig Labelfilter vergeben wurden, kann nachträglich ohne Aufwand einzeln nach den fünf Türvarianten mitsamt den zugehörigen Montageprozessen und den erforderlichen Arbeitsmitteln aufgelöst werden. Darüber hinaus können auch ressourceseitig variantenspezifische Vergleichsbetrachtungen über die Aktivierung von Filtern erfolgen. Der in Abbildung 6-7 dargestellte Ressourcegraph zeigt letztlich alle ressourceseitigen Unterschiede, die bei den fünf explizit berücksichtigten Türvarianten bestehen. Ähnlich wie bei dem Prozessgraph aus Abschnitt 6.3 bietet auch der Ressourcegraph eine hohe Planungstransparenz und reduziert somit das Risiko von Fehlinterpretationen und Fehlentscheidungen. Durch die angestrebte Wiederverwendung einer bestehenden Laminiermaschine, existierender Handhabungsgeräte sowie einer bereits vorhandenen Klebepistole zum Fügen der Türdämmung wird der Investitionsbedarf in neue Ressourcen gesenkt und das Risiko einer Fehlinvestition minimiert.

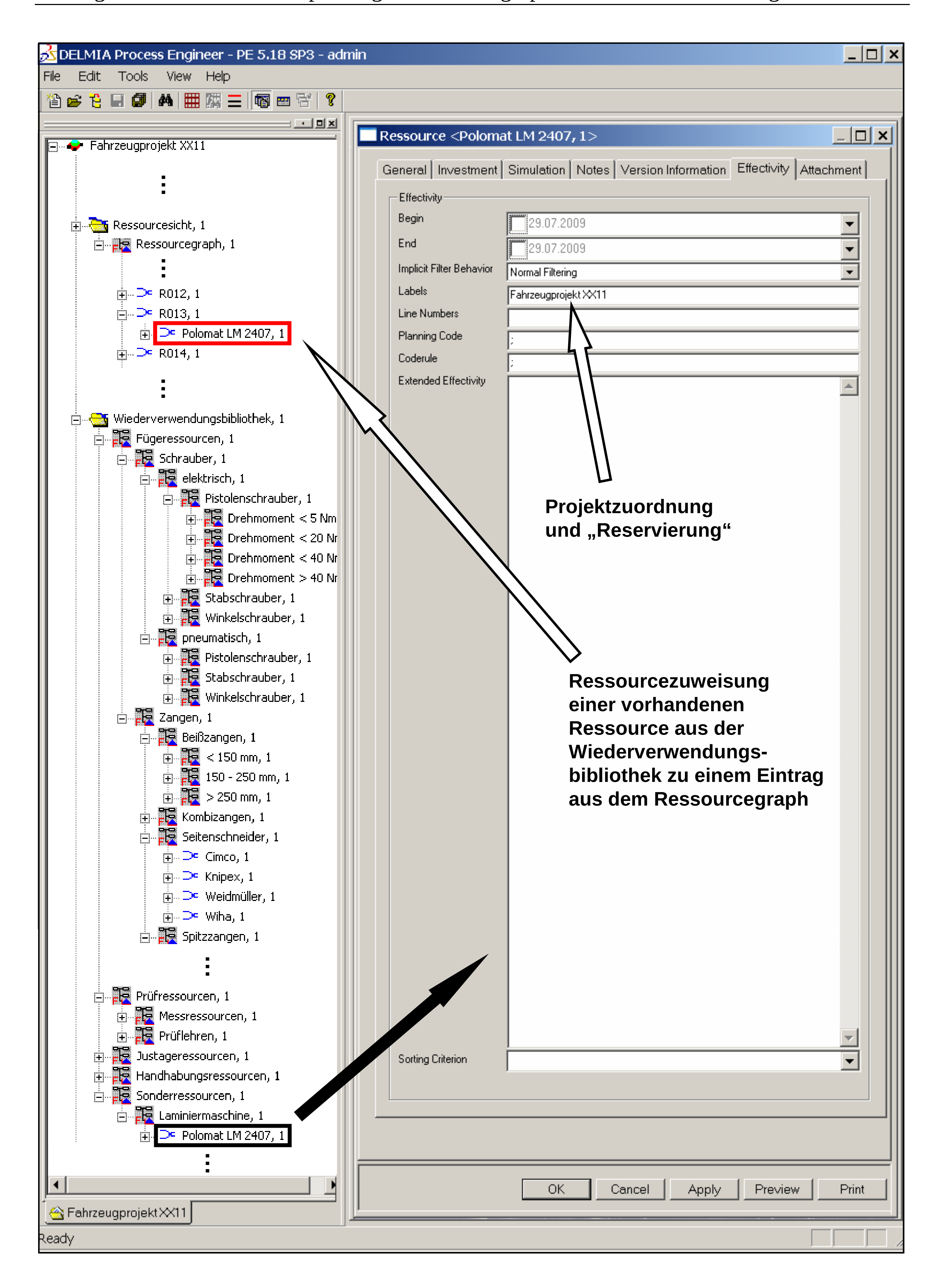


Abbildung 6-9: Realisierte Wiederverwendungsbibliothek (DPE)

6.5 Austaktungsergebnisse und resultierender Ressourcebedarf

Im Rahmen der Arbeit wurde die Austaktung für das Beispiel der Türenmontage sowohl rein manuell als auch rechnerunterstützt mit Hilfe der DELMIA Software ALB durchgeführt. In beiden Fällen hat sich gezeigt, dass die bereits im Prozessgraphen hinterlegten Austaktungsinformationen einen Mehrwert darstellen und das Risiko von Fehlentscheidungen reduzieren. Unter Beachtung der Verbindungstypen unter den Prozessen kann verhältnismäßig einfach eine Stationszuweisung der Prozesse erfolgen. Auf Basis der Verbindungstypen ist direkt offensichtlich, welche Prozesse zusammenbleiben müssen und welche auf verschiedene Stationen aufgeteilt werden können. Abbildung 6-10 zeigt das generelle Ergebnis einer ersten Austaktung unter reiner Beachtung der durchschnittlichen Teileverbauzeit. Pro Station ist ein Werker vorgesehen.

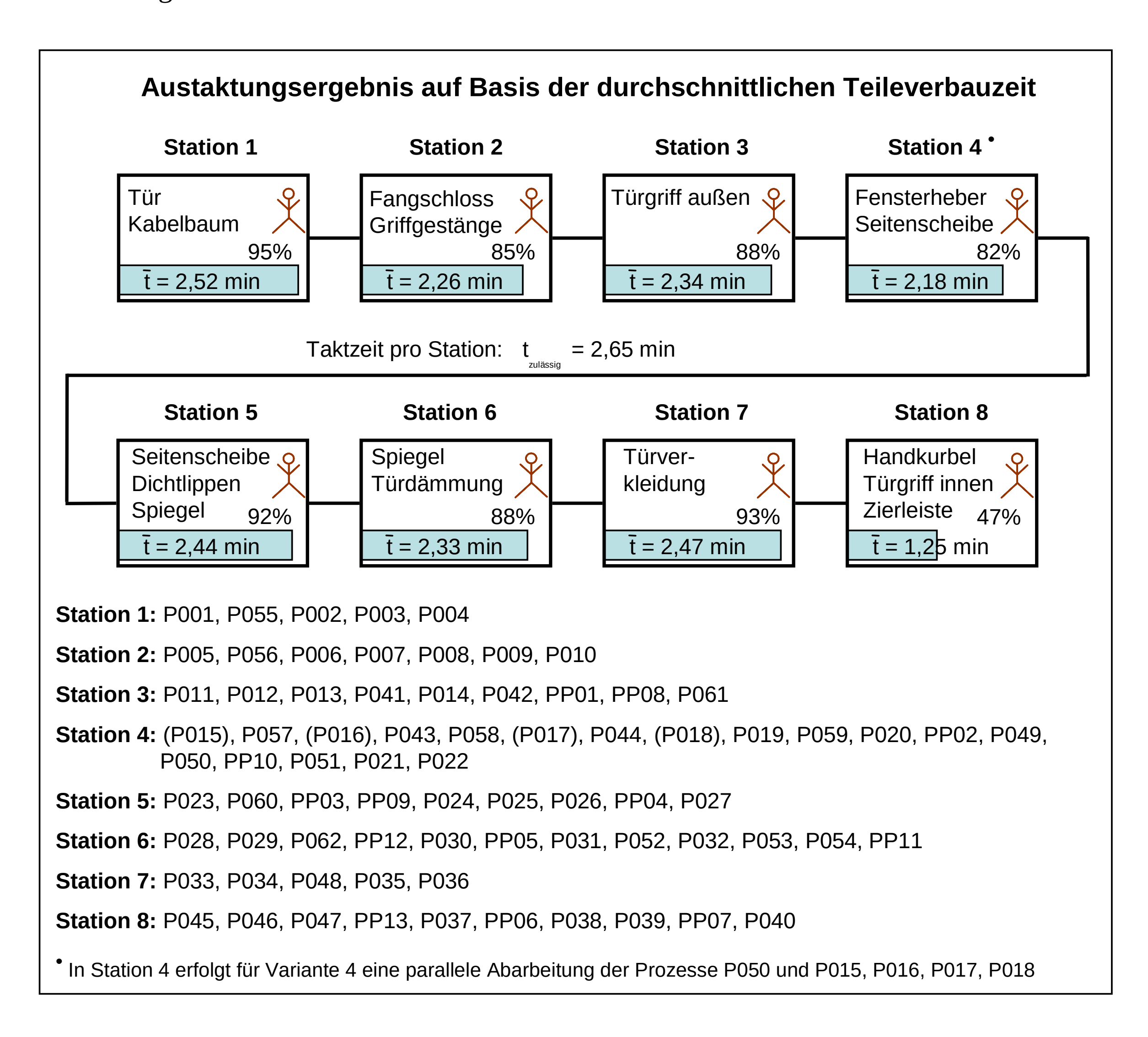


Abbildung 6-10: Austaktungsergebnis auf Basis der durchschnittlichen Teileverbauzeit

Eine Absolvierung der Austaktung in der digitalen Umgebung von ALB bietet gegenüber einer rein manuellen Austaktung den Vorteil, dass zusätzlich zur Stationszuweisung der Prozesse sich auch die Materialzonen und die sich dort einstellenden Platzverhältnisse – die letztlich aus der Anzahl der pro Station zugeordneten Prozesse bzw. Teile und deren Teilebehälter resultiert – erschließen. Die Austaktungssoftware ist ferner in der Lage automatisch den Verbindungstyp 3 („Die Prozesse gehören untrennbar zusammen und können nicht auf verschiedene Werker aufgeteilt werden") unter den Prozessen zu erkennen. Abbildung 6-11 zeigt nochmals exemplarisch das Austaktungsresultat für die ersten beiden Stationen in der digitalen Umgebung, wobei dort auch die Platzverhältnisse in der Materialzone ersichtlich werden.

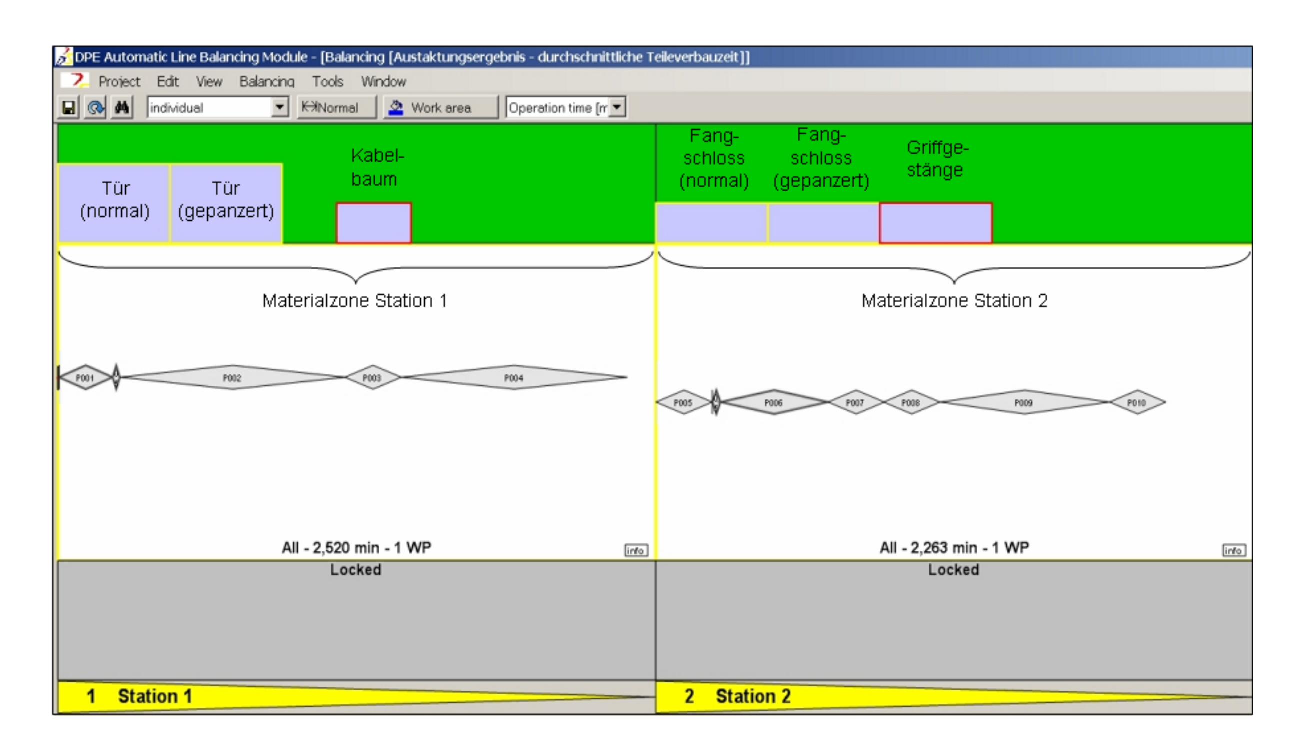


Abbildung 6-11: Materialzonenberücksichtigung in der digitalen Umgebung (ALB)

Das Austaktungsergebnis unter Beachtung der durchschnittlichen Teileverbauzeit scheint auf den ersten Blick akzeptabel zu sein. Erfolgt allerdings eine Variantenauflösung nach den als wichtig deklarierten Türvarianten, so muss das Austaktungsresultat aus Abbildung 6-10 hinsichtlich seiner tatsächlichen Eignung für den Produktionsbetrieb in Frage gestellt werden. Abbildung 6-12 zeigt das Ergebnis der Variantenauflösung.

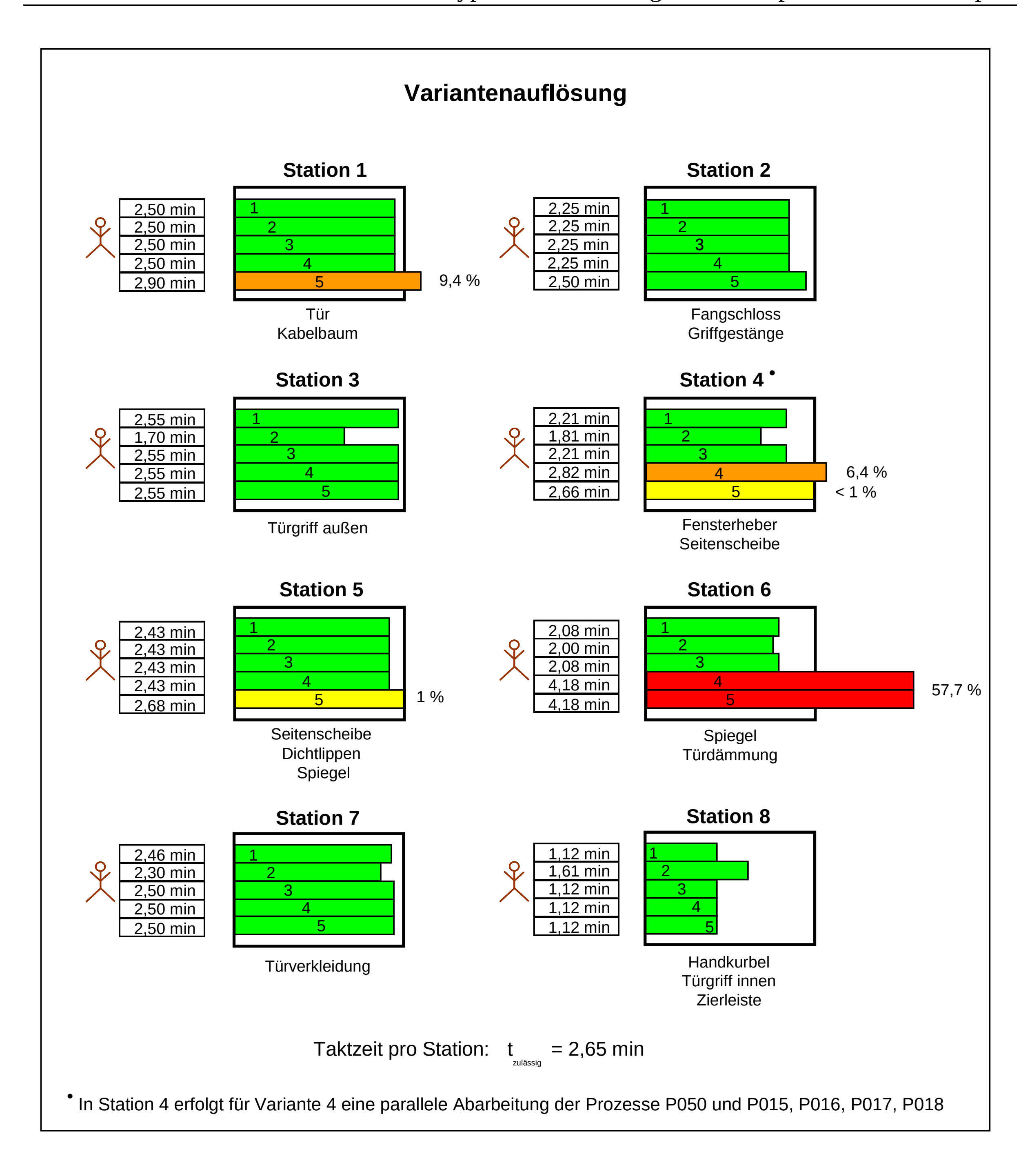


Abbildung 6-12: Ergebnis der Variantenauflösung

Das Ergebnis der Variantenauflösung ist nicht zufrieden stellend. Speziell im Bereich der Montage des Spiegels und der Türdämmung (Station 6) werden inakzeptable Ergebnisse für die Türvarianten 4 und 5 erzielt. Der Werker in Station 8 ist hingegen mit dem Verbau der Handkurbel, dem Türgriff innen sowie der Zierleiste nicht ausgelastet – dies war auch bei der Austaktung unter Beachtung der reinen durchschnittlichen Teileverbauzeit abzusehen (vgl. Abbildung 6-10). Abbildung 6-13 zeigt nochmals in einer nachbearbeiteten Übersicht die Sachlage für Station 6 (in ALB können Varianten prinzipiell nur einzeln aufgerufen werden).

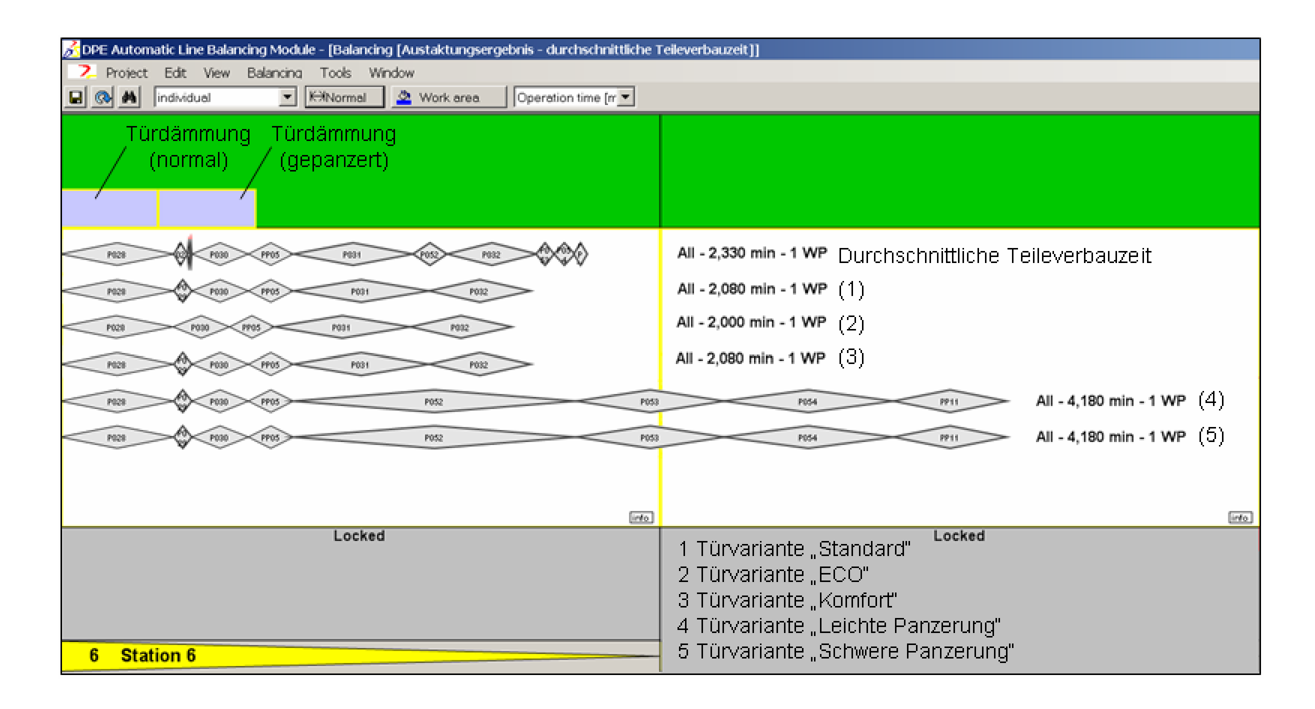


Abbildung 6-13: Variantenauflösung für Station 6 (ALB, angepasste Darstellung)

Im digitalen Umfeld kann die Variantenauflösung dank der vergebenen Labelfilter mit geringem Aufwand nacheinander durchgeführt werden. Auch bei Betrachtung von Abbildung 6-13 wird der Handlungsbedarf in Station 6 unmittelbar ersichtlich. Die zeitlichen Überschreitungen der Taktzeit bei den Türvarianten 4 und 5 beeinträchtigen nachhaltig die Gesamteffizienz der Montagelinie. Zudem verursachen die Varianten 4 und 5 auch in anderen Stationen Probleme (vgl. Abbildung 6-12). Da die positive Abdrift in Station 1 und 4 jedoch nicht stark ausgeprägt ist, wird dieser Sachverhalt als akzeptabel hingenommen. Es wird lediglich dokumentiert, dass eine ressourceseitige Optimierung mit dem Ziel der Prozesszeitverkürzung für die Variante 5 in Station 1 und für die Variante 4 in Station 4 stattfinden könnte. Die Prozesse P055 und P050 mit der Ressourcezuordnung R017 bzw. R013 wären zu optimieren.

In Station 6 verursacht die Montage der unterschiedlichen Türdämmungen zeitliche Probleme. Folglich hat sich die Vorhersage aus Abschnitt 6.3 bewahrheitet – dort wurde der Bereich der Anbringung der Türdämmung bereits als voraussichtlich kritisch eingestuft. Theoretisch könnte auch für Station 6 versucht werden das zeitliche Problem hinsichtlich der Anbringung der Türdämmung bei den Varianten 4 und 5 über eine ressourceseitige Optimierung mit resultierender Prozesszeitverkürzung zu lösen. Allerdings wird in diesem Fall eine andere Lösung bevorzugt. Für die Varianten 4 und 5 werden die Montageoperationen des Spiegels (P028 # und P029 #) und Teile der Montageprozesse der Türdämmung (P054 und

PP11) von Station 6 nach Station 7 verlagert. Diese alleinige Maßnahme stellt allerdings noch keine Lösung dar, da lediglich eine Problemverlagerung von Station 6 in Station 7 stattfindet – jetzt käme es in Station 7 zu ähnlich schwerwiegenden Taktzeitüberschreitungen bezüglich der Varianten 4 und 5, wie zuvor in Station 6. Es muss eine weitere Verlagerung von Prozessen für die Varianten 4 und 5 aus Station 7 in Station 8 stattfinden. Wie bereits erwähnt, ist Station 8 in ihrer Ursprungsauslegung ohnehin als suboptimal einzustufen, da der dortige Werker nicht vollständig ausgelastet ist. Eine weitere Verlagerung der erwähnten Montageprozesse des Spiegels (P028 # und P029 #) und der Türdämmung (P054 und PP11) in Station 8 ist jedoch aufgrund der vorherrschenden Vorrangbedingungen auszuschließen. Folglich muss eine erneute Prozessaufteilung für die Varianten 4 und 5 in Station 7 stattfinden und ein Teil der variantenspezifischen Prozesse in Station 8 verschoben werden. Der Verschraubungsprozess P036 der Türverkleidung kann als geeigneter Prozess identifiziert werden, der in die variantenspezifischen Prozesse P036 * und P036 # aufgeteilt werden kann. Wie aus Abbildung 6-14 ersichtlich, führt eine weitere Verschiebung des Prozesses P036 # von Station 7 in Station 8 zu einem annehmbaren Ergebnis.

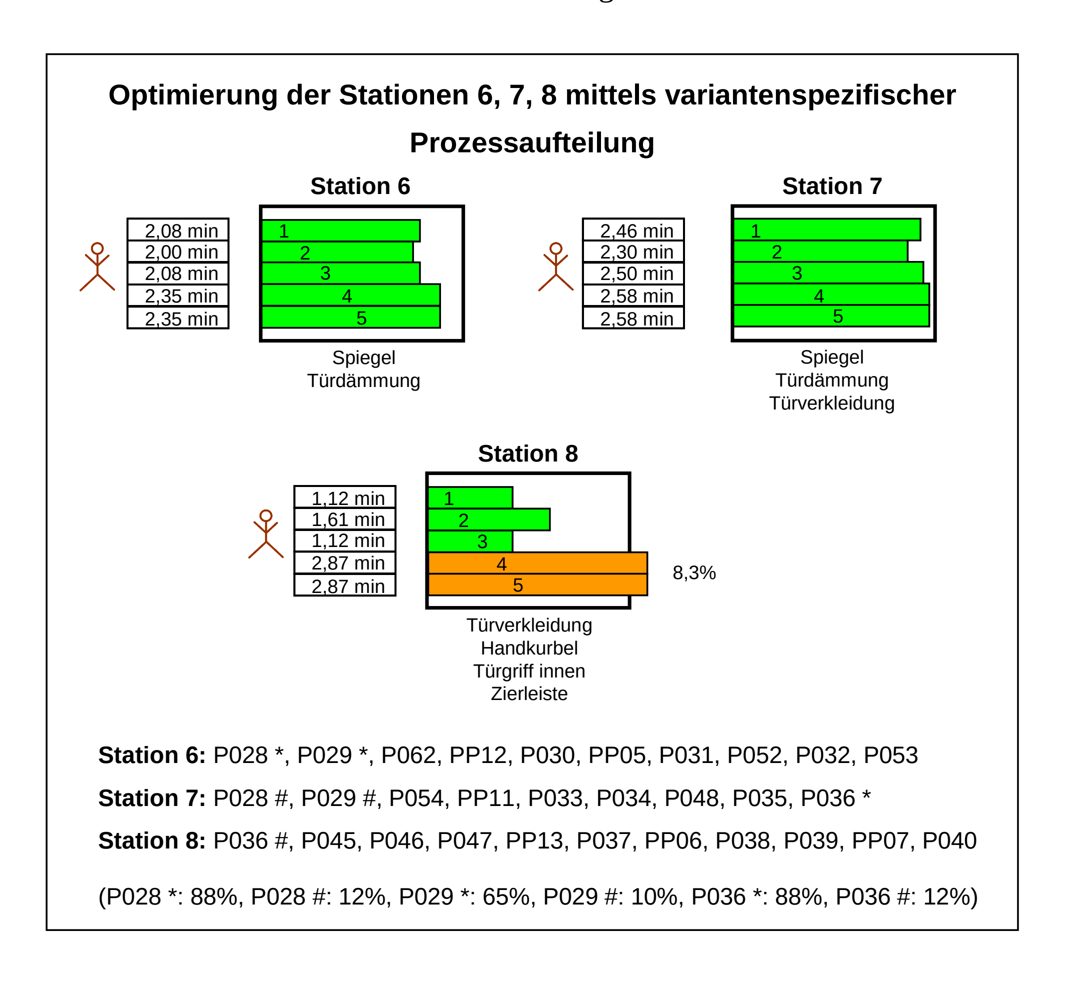


Abbildung 6-14: Stationsoptimierung mittels variantenspezifischer Prozessaufteilung

Durch die variantenspezifische Aufteilung der Prozesse P028, P029 und P036 ergeben sich im Nachhinein auch Veränderungen bezüglich des Prozessgraphen. Abbildung 6-15 zeigt die Bereiche des Prozessgraphen, die von der variantenspezifischen Aufteilung betroffen sind.

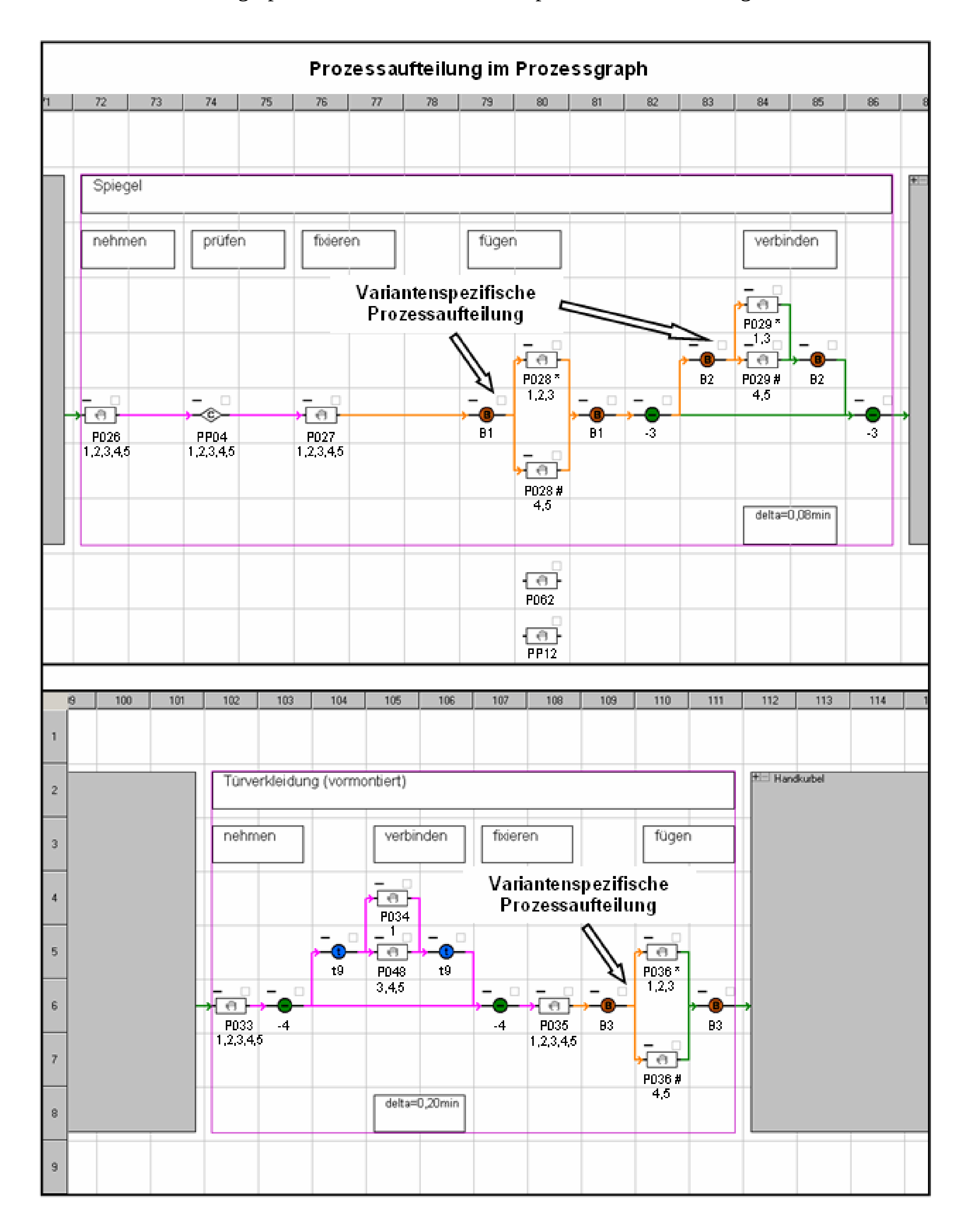


Abbildung 6-15: Folgen im Prozessgraph (DPE)

Die Veränderung des Prozessgraphen bedingt im vorliegenden Fall auch eine Veränderung des Ressourcegraphen, da den Prozessen P028 und P036 Ressourcen zugeordnet sind. Letztlich müssen die ursprünglich eingeplanten Ressourcen R009 und R010 zweifach angeschafft werden, was die im Rahmen der Ressourceabschätzung ermittelte Investitionssumme in Arbeitsmittel um 240,00 € erhöht, falls diese neu angeschafft werden. Da jedoch in Station 8 die Ressourcen R012 und R011 durch die Austaktung zusammenfallen und demzufolge lediglich einer der dort erforderlichen Schrauber angeschafft werden muss, relativiert sich der zusätzliche Investitionsbedarf in neue Ressourcen durch die gewählte Austaktung auf 120,00 € in Relation zur vorherigen Ressourceabschätzung. Dieser Betrag darf vernachlässigt werden. Abbildung 6-16 zeigt die Bereiche des Ressourcegraphen, die von der variantenspezifischen Aufteilung betroffen sind.

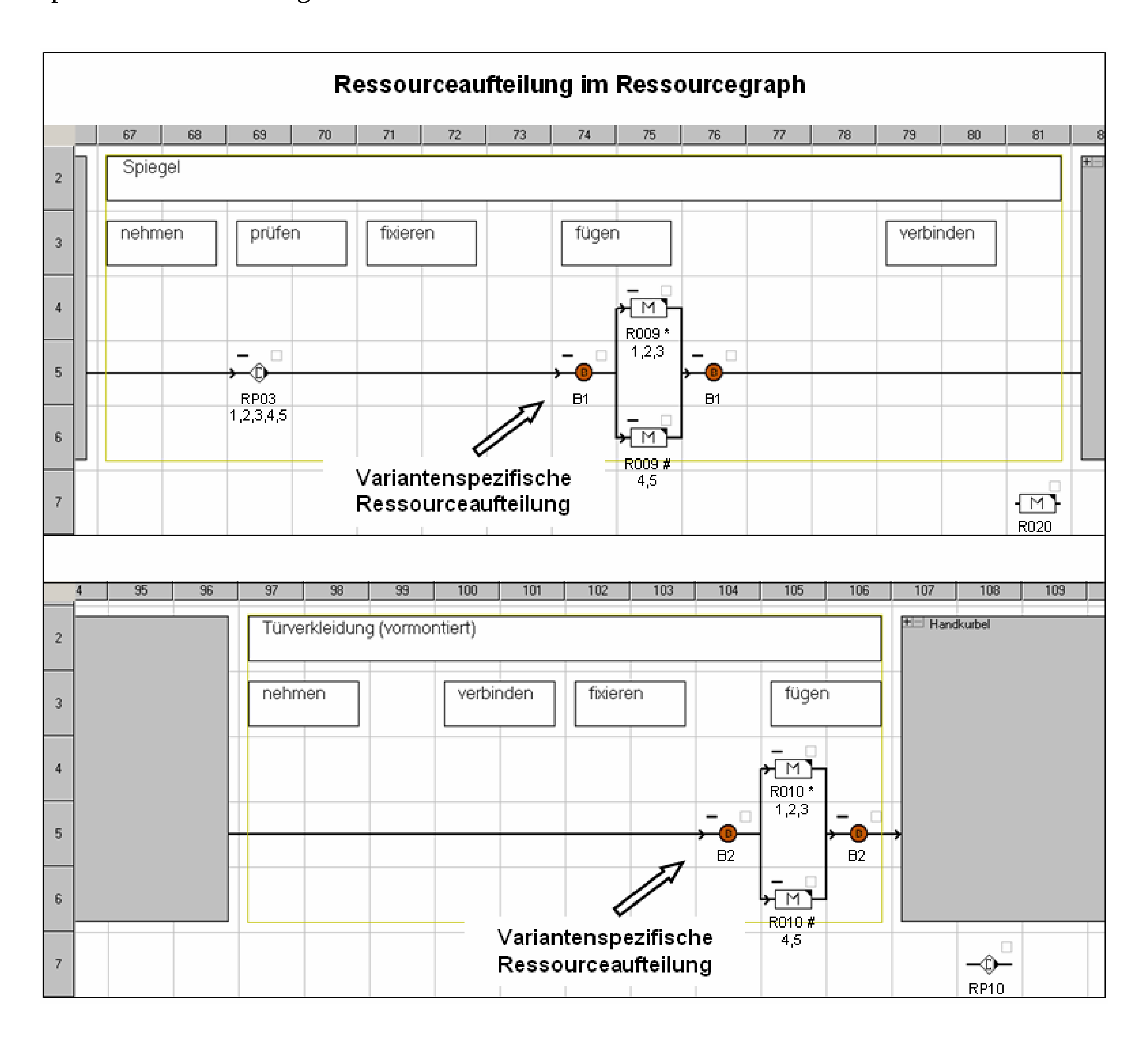


Abbildung 6-16: Folgen im Ressourcegraph (DPE)

Durch die variantenspezifische Optimierung wird rückwirkend auch die auf der durchschnittlichen Teileverbauzeit basierende Austaktung beeinflusst. Das resultierende Ergebnis ist der Vollständigkeit halber in Abbildung 6-17 dargestellt.

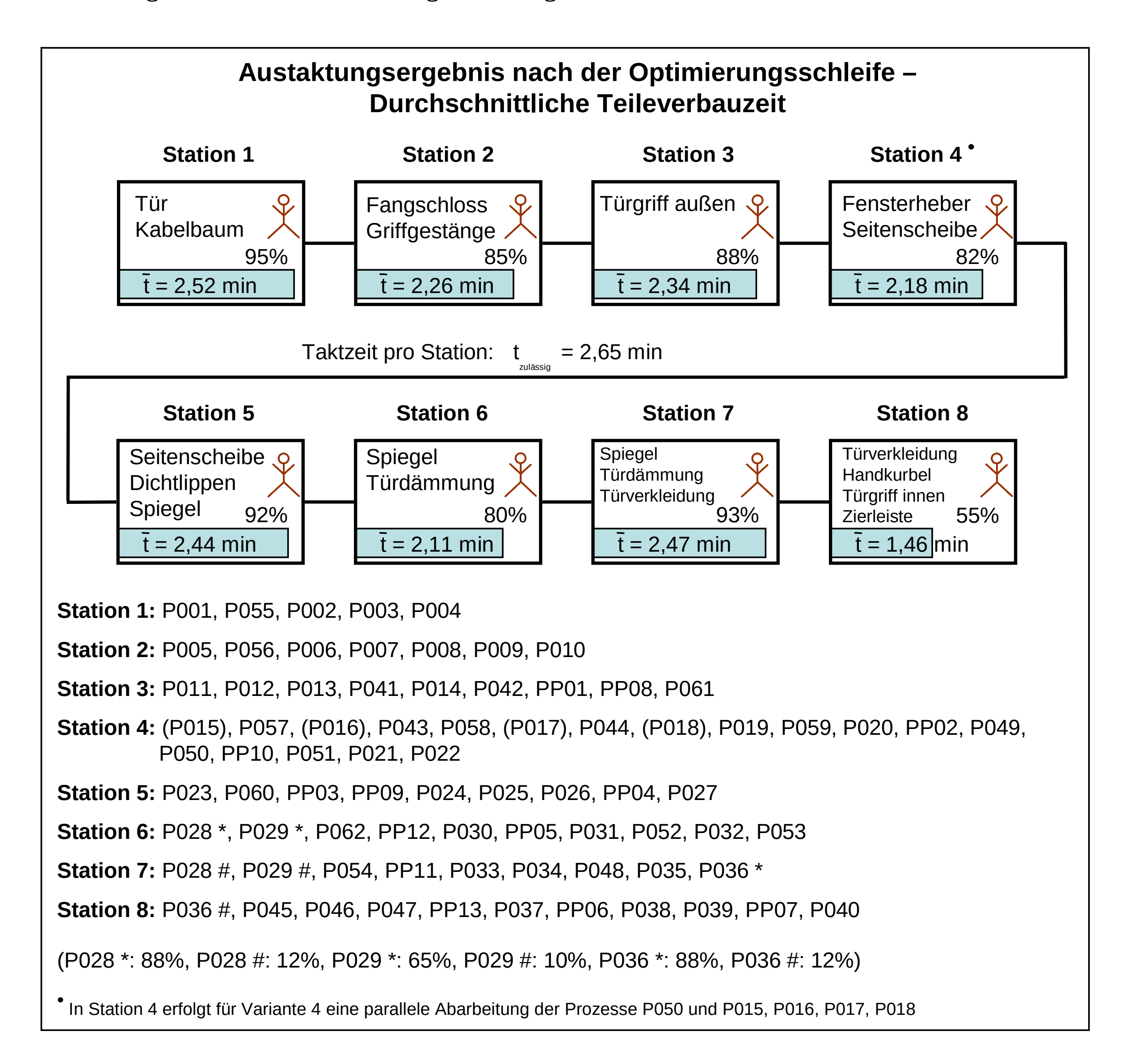


Abbildung 6-17: Austaktungsergebnis nach der Optimierungsschleife

Mit dem gezeigten Austaktungsergebnis ist sichergestellt, dass die drei Türvarianten mit hohen Verkaufsprognosen effizient montiert werden können und die beiden Türvarianten, die als kritisch eingestuft wurden, keine nennenswerten Montageprobleme mit Auswirkung auf andere Türvarianten verursachen. Auch die sich anschließende stationsbezogene Betrachtung der Top- und Basisversion der Fahrertür wurde mit dem erarbeiteten Austaktungsergebnis erfolgreich absolviert. Folglich ist das Risiko einer suboptimalen Austaktung herabgesetzt. Die ursprünglich gewählte Montagereihenfolge konnte generell beibehalten werden.

6.6 Flexibilitätsbetrachtung – Verdopplung der Ausbringungsmenge

Für das Ergebnis aus Abschnitt 6.5 (siehe Abbildung 6-17) kann eine Volumenflexibilitätsbetrachtung durchgeführt werden. Nachfolgend wird das Szenario von zu pessimistischen Verkaufsprognosen exemplarisch betrachtet. Auf planungstechnischer Ebene soll geklärt werden, ob auf Basis der zuvor ermittelten Resultate eine schnelle Steigerung der Ausbringungsmenge um ca. 100% im Bereich der Türenmontage möglich ist. Eine Veränderung des Schichtbetriebes – vorgesehener Zweischichtbetrieb – soll vermieden werden, zumal mit einem Dreischichtbetrieb auch nicht die gewünschte Ausbringungssteigerung erzielt wird.

Da in den acht Stationen zur Montage der Fahrertür überwiegend manuelle Montageprozesse durchgeführt werden, kann in einem ersten Schritt geprüft werden, ob eine Ausbringungsverdopplung durch eine Verdopplung der Werkeranzahl pro Station möglich ist. Abbildung 6-18 zeigt das erzielte Austaktungsergebnis basierend auf der durchschnittlichen Teileverbauzeit bei einer Werkerverdopplung. Es ist selbsterklärend, dass die Aufteilung der Arbeitsinhalte bei doppeltem Werkereinsatz pro Station überdacht und angepasst werden muss. Bei der erwähnten Aufteilung der Arbeitsinhalte haben sich erneut die im Prozessgraphen hinterlegten Austaktungsinformationen als nützlich erwiesen.

Wie aus Abbildung 6-18 ersichtlich, musste es in Station 6, 7 und 8 zu Umverteilungen von Prozessen und Prozessaufteilungen bzw. -splittungen kommen. Da die Anzahl der prozessseitigen Umverteilungen, Aufteilungen und Splittungen in Summe überschaubar ist, kann dieser Umstand aber prinzipiell akzeptiert werden.

Bei Betrachtung der Ergebnisse aus Abbildung 6-18 entsteht der Eindruck, dass eine Werkerverdopplung beinahe problemlos möglich ist. Lediglich in Station 6 ergibt sich bei der Austaktung auf Basis der durchschnittlichen Teileverbauzeit für den zweiten Werker ein unzulässiges Resultat.

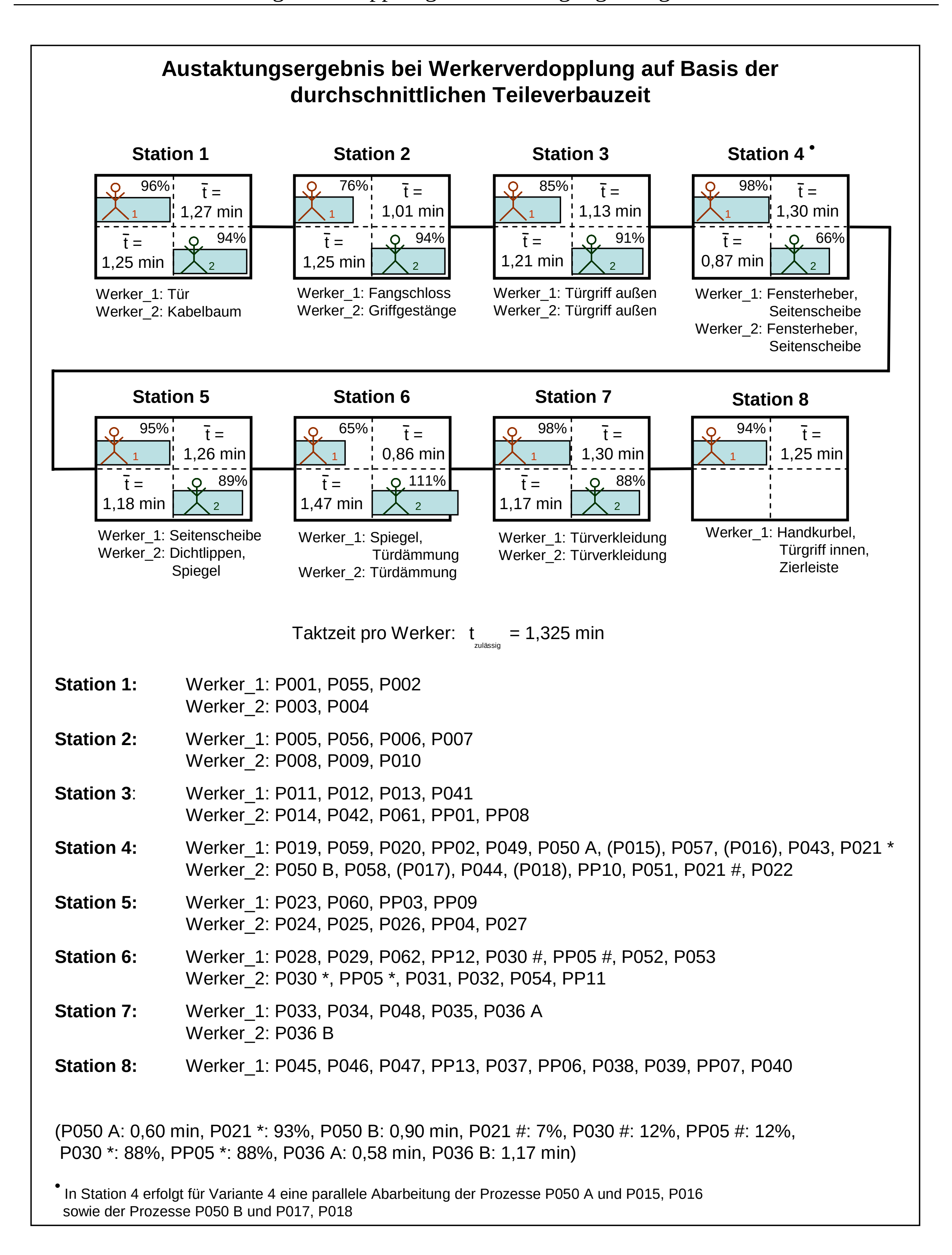


Abbildung 6-18: Austaktungsergebnis bei Werkerverdopplung (durchschnittliche Teileverbauzeit)

Erfolgt jedoch eine Variantenauflösung, so zeigt sich, dass in mehreren Stationen suboptimale Situationen in Bezug auf die fünf einzelnen Varianten bestehen. Wie aus Abbildung 6-19

ersichtlich, würden insbesondere nicht vernachlässigbare Probleme in Station 1, 4, 5, 6 und 8 resultieren.

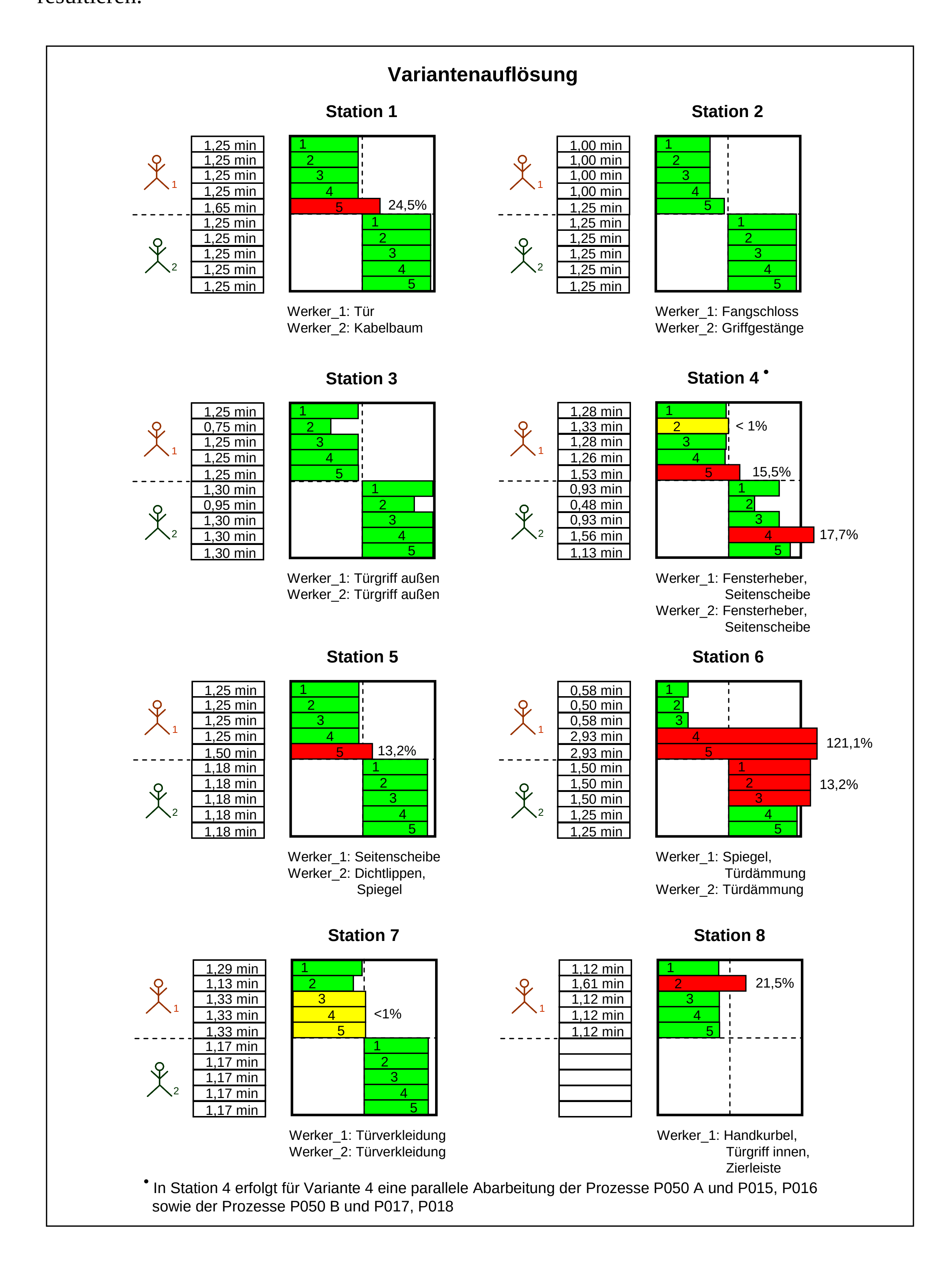


Abbildung 6-19: Austaktungsergebnis bei Werkerverdopplung (Variantenauflösung)

Die mittels eines Handhabungsgerätes stattfindende Entnahme der gepanzerten Türen aus der Bereitstellung sowie der anschließende Transport der gepanzerten Türen zur Aufnahmevorrichtung (P055) verursacht in Station 1, dass der erste Werker deutlich in den Bereich des zweiten Werkers abdriftet und dieser nicht rechtzeitig mit seiner Arbeit beginnen kann. Der geschilderte Sachverhalt ist inakzeptabel und könnte für die gepanzerten Türen nur durch eine Optimierung des Prozesses P055 bzw. der zugehörigen Ressource R017 erfolgen. Im vorliegenden Fall wird die Optimierung des Prozesses P055 jedoch als schwierig eingestuft und aufgrund einer existierenden Alternativlösung nicht weiterverfolgt. Die Alternativlösung besteht darin, den kompletten Montageumfang bezüglich der Vereinigung von Tür und Aufnahmevorrichtung zu automatisieren. Die manuellen Prozesse P001, P055 und P002 wären bei dieser Lösung durch einen neuen Prozess für die automatische Zuführung und Befestigung der Türen in der Aufnahmevorrichtung zu ersetzen. Der neue Prozess wäre für alle Türvarianten gültig und darf letztlich maximal eine Prozesszeit von 1,325 min aufweisen.

In Station 4 verursachen einerseits die Sonderprozesse für die schwer gepanzerten Varianten (speziell die Prozesse P059 und P057) und zudem das Laminieren der Seitenscheibe für leicht gepanzerte Varianten (speziell die Prozesse PP10, P051, P021 #, P022) Probleme. Im Rahmen des hier diskutierten Szenarios einer Ausbringungsverdopplung würde es aufgrund der identifizierten Defizite durchaus Sinn machen den Laminierprozess der Seitenscheibe auszulagern und laminierte Scheiben im Montagebereich der Fahrertüren bereitzustellen. Dadurch ließen sich auch die Probleme bei dem ersten Werker bezüglich der gepanzerten Türvarianten lösen, da bei einer Bereitstellung von bereits laminierten Seitenscheiben eine Umverteilung der Arbeitsinhalte von Werker eins und zwei in Station 4 erfolgen kann. Der erste Werker könnte sich um die Montage aller Arten von Fensterhebern kümmern – von der Fensterheberentnahme bis zur Fensterheberverschraubung (P015, P057, P016, P043, P058, P017, P044) –, wohingegen der zweite Werker bei elektrischen Fensterhebern für die Kontaktierung dieser mit dem Kabelbaum verantwortlich wäre sowie für die Montageprozesse der Seitenscheibe bis einschließlich der Vorfixierung der Scheibe im eingebauten Fensterheber und der Abnahme des Montageschutzes (P018, P019, P059, P020, PP02, P021, P022).

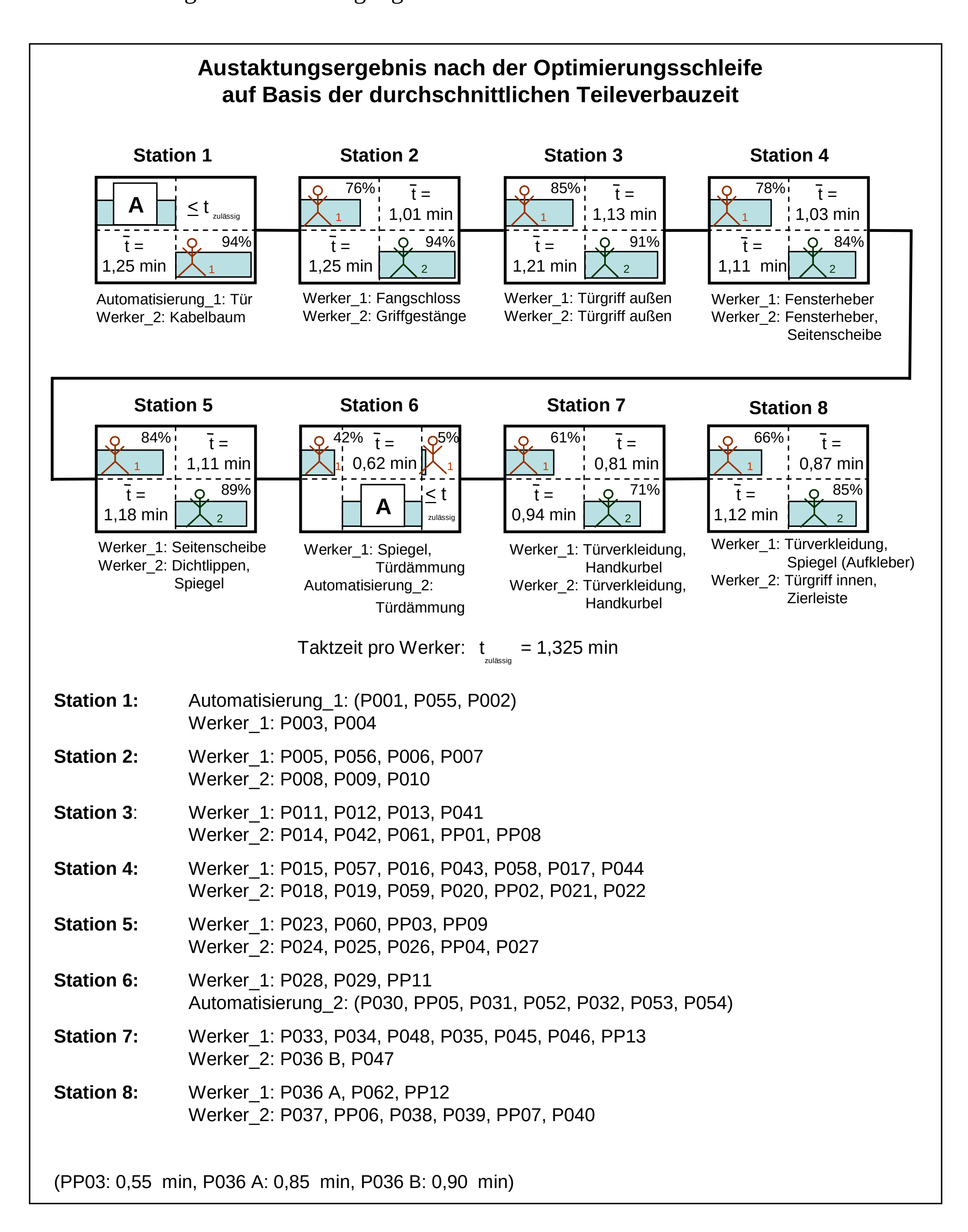
Die Taktzeitüberschreitung bei dem ersten Werker in Station 5, die erneut durch die schwer gepanzerten Türvarianten verursacht wird, kann theoretisch entweder durch eine Optimierung des Verschraubprozesses P060 oder der Prüfoperation PP03 der Seitenscheibe erfolgen. Im vorliegenden Fall erscheint es zweckmäßig die automatische Verfahrprüfung der Seiten-

scheibe (PP03) über eine Optimierung der Ressource RP02 zu beschleunigen. Es wird als realistisch erachtet, dass der Prozess PP03 über ressourceseitige Anpassungen auch in 0,55 min absolviert werden kann.

In Station 6 treten die schwerwiegendsten Probleme bezüglich der Taktzeitüberschreitungen auf. Keine Türvariante kann in der eigentlich vorgesehenen Zeit in Station 6 mit einem Spiegel und einer Türdämmung ausgestattet werden. Als besonders kritisch stellen sich die Türvarianten heraus, die eine schusssichere Türdämmung benötigen, da diese die zusätzliche Durchführung der Sonderoperationen „Kleber aushärten“ (P054) und „Verklebung prüfen“ (PP11) nach dem eigentlichen Klebeprozess der Türdämmung bedingen. Theoretisch könnte in Hinblick auf Station 6 überlegt werden, Platz für eine Stationsdopplung vorzusehen, um die Situation bei Eintritt des diskutierten Szenarios entschärfen zu können. Bei Bevorzugung dieser Lösung müssten allerdings die Arbeitsinhalte der Werker in den Stationen überdacht und sinnvoller verteilt werden. Im vorliegenden Fall wird diese Lösung allerdings nicht favorisiert. Stattdessen wird eine automatische Anbringung der Türdämmung bevorzugt. In Station 6 würde dann nur noch ein Werker benötigt, der die Arbeitsinhalte „Spiegel verschrauben und gegebenenfalls kontaktieren“ (P028, P029) sowie „Verklebung prüfen“ (PP11) nach der automatisierten Anbringung der Türdämmung für gepanzerte Fahrzeuge ausüben müsste (vgl. Abbildung 6-20). Bei einer Abfolge von gepanzerten Türvarianten wäre dieser Werker aufgrund der speziellen Situation bereits ausgelastet. Eine Anbringung des Aufklebers „Sport“ (P062) und eine anschließende Qualitätskontrolle der Dekorierung (PP12) kann bei einer Abfolge von gepanzerten Türvarianten nicht mehr erfolgen. Bei einer Abfolge von normalen Türen wäre dies möglich, da der Prozess PP11 entfällt. An dieser Stelle wird jedoch die Entscheidung getroffen, die Prozesse P062 und PP12 variantenunabhängig in einer anderen Station durchzuführen. Zur kompletten Auslastung des Werkers in Station 6 könnten ihm stattdessen Zusatzaufgaben übertragen werden. Der Werker müsste bei Eintritt des Szenarios zusätzlich die Aufgabe der Maschinenbestückung übernehmen, die bei der Abarbeitung von normalen Türen zu erledigen wäre.

Da die Prozesse P062 und PP12 im Rahmen des geschilderten Szenarios nicht mehr in Station 6 durchführbar sind, müssten diese prinzipiell in Station 7 oder 8 erledigt werden. Da die beiden Werker in Station 7 und der Werker in Station 8 aber bereits ausgelastet sind, ergibt sich an dieser Stelle durch die beiden unscheinbaren Prozesse P062 und PP12 ein neues Problem. Dieses Problem kann jedoch durch den Einsatz eines zweiten Werkers in Station 8

umgangen werden. Eine Neuaufteilung der Prozesse unter den Werkern aus Station 7 und 8 ist in diesem Zusammenhang zweckmäßig. Abbildung 6-20 zeigt das Endergebnis hinsichtlich der zuvor angestellten Überlegungen.



Station 1:	Automatisierung_1: (P001, P055, P002) Werker_1: P003, P004
Station 2:	Werker_1: P005, P056, P006, P007 Werker_2: P008, P009, P010
Station 3:	Werker_1: P011, P012, P013, P041 Werker_2: P014, P042, P061, PP01, PP08
Station 4:	Werker_1: P015, P057, P016, P043, P058, P017, P044 Werker_2: P018, P019, P059, P020, PP02, P021, P022
Station 5:	Werker_1: P023, P060, PP03, PP09 Werker_2: P024, P025, P026, PP04, P027
Station 6:	Werker_1: P028, P029, PP11 Automatisierung_2: (P030, PP05, P031, P052, P032, P053, P054)
Station 7:	Werker_1: P033, P034, P048, P035, P045, P046, PP13 Werker_2: P036 B, P047
Station 8:	Werker_1: P036 A, P062, PP12 Werker_2: P037, PP06, P038, P039, PP07, P040

(PP03: 0,55 min, P036 A: 0,85 min, P036 B: 0,90 min)

Abbildung 6-20: Austaktungslösung für eine Verdopplung der Ausbringungsmenge

Bei dem in Abbildung 6-20 präsentierten Ergebnis ist ersichtlich, dass die Werker teilweise unterschiedlich stark in den unterschiedlichen Stationen ausgelastet wären. Um dieses Ungleichgewicht zu mindern, wäre es evtl. sinnvoll über eine geeignete Arbeitsplatzrotation nachzudenken.

Bezüglich der angestrebten automatisierten Lösungen in Station 1 und in Station 6 sind selbstverständlich alle technischen Details zu klären und zudem detaillierte Kostenbetrachtungen durchzuführen. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind zu dokumentieren. Bei nicht zufrieden stellenden Resultaten müssten Alternativlösungen gefunden und evaluiert werden. Ferner muss generell bestimmt werden, welcher zusätzliche Ressource- und Investitionsbedarf durch die Prozessverschiebungen und Prozessaufteilungen entsteht. Letztlich wäre auch die Personalabteilung darüber zu informieren, dass bei diesem Szenario ein zusätzlicher Bedarf an Arbeitnehmern entstehen würde, der beim Eintreten des Szenarios abzudecken wäre.

Es sei nochmals ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die in Abbildung 6-20 gezeigte Austaktungslösung nicht umgehend umgesetzt, sondern lediglich dokumentiert wird, damit bei einer erforderlich werdenden Verdopplung der Ausbringungsmenge bereits ein ausgearbeiteter, geprüfter und somit schnell umsetzbarer Lösungsvorschlag zur Verfügung steht. Bei Realisierung der Montagelinie basierend auf dem in Abschnitt 6.5, Abbildung 6-17 gezeigten Ergebnis sollten jedoch bereits alle Maßnahmen bedacht und ergriffen werden, die eine schnelle und unproblematische Veränderung der Linie in Hinblick auf das Szenario der Ausbringungsverdopplung gestatten.

Mit dem in Abbildung 6-20 gezeigten Austaktungsergebnis wäre sichergestellt, dass die drei Türvarianten mit hohen Verkaufsprognosen im Rahmen des Szenarios der Ausbringungsverdopplung effizient montiert werden können und die beiden Türvarianten, die als kritisch eingestuft wurden, keine nennenswerten Montageprobleme mit Auswirkung auf andere Türvarianten verursachen. In Zusammenhang mit dem diskutierten Szenario ist ferner auch die stationsbezogene Betrachtung der Top- und Basisversion der Fahrertür erfolgreich absolviert worden. Durch die erarbeiteten Ergebnisse kann dem Szenario einer unerwarteten, plötzlich erforderlich werdenden Ausbringungsverdopplung nach SOP entspannter entgegengesehen werden. Das Risiko, von einer erforderlich werdenden Ausbringungsverdopplung unvorbereitet überrascht zu werden und mit dieser Anforderung nicht klar zu kommen, ist in dem diskutierten Beispiel reduziert.

6.7 Kritische Nachbetrachtung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das entwickelte Planungskonzept generell mit einem kommerziell erhältlichen Planungstool umsetzbar ist. Die konzeptionell erarbeiteten Prozess- und Ressourcegraphen können in DPE mitsamt ihren besonderen Variantenknoten und Verbindungstypen erstellt werden – softwareseitige Anpassungen vorausgesetzt. Die erhöhte Transparenz der Graphen stellt einen Mehrwert für den direkten Anwender sowie für involvierte Dritte dar. Des Weiteren können mögliche kritische Bereiche auf visuellem Wege identifiziert werden. Ein softwareseitiger Hinweis auf stark variantenbehaftete bzw. vermeintlich kritische Montageschritte erfolgt bisher jedoch nicht. Eine methodische Herangehensweise an diese Thematik ist zwar erarbeitet (siehe z. B. Abschnitt 5.2.2, Tabelle 5-3), die softwaretechnische Realisierung steht aber noch aus.

Die in DPE erzeugten Graphen sind zwar bereits komplex, ihre Größe stellt aber noch kein Problem für den Anwender bzw. Betrachter dar. Änderungen an den Graphen sind auch im Nachhinein möglich, wobei dies teilweise jedoch mit einem recht hohen Aufwand einhergeht, der von dem Anwender zu erbringen ist. Die Benutzerfreundlichkeit und die softwareseitige grafische Darstellung sind zudem noch verbesserungsfähig. Ferner müssten noch weitere Untersuchungen stattfinden, inwieweit die Realisierung eines wissensbasierten Planungstools möglich ist. Mit Hilfe eines wissensbasierten Softwareansatzes könnten Routinetätigkeiten vereinfacht und Lösungsvorschläge für Verbauvorgänge automatisch generiert werden.

Im vorliegenden Fall stellt die zu einem frühen Zeitpunkt stattfindende Ressourceabschätzung den Ausgangspunkt zur Durchführung einer Wiederverwendungsplanung dar. Ferner kann die Abschätzung für erste Kostenkalkulationen herangezogen werden. Gesamtinvestitionskosten in Arbeitsmittel können prinzipiell ermittelt werden, eine variantenspezifische Kostenanalyse ist aber noch nicht vollständig umgesetzt.

Die prototypisch realisierte Wiederverwendungsbibliothek ist strukturiert aufgebaut und kann systematisch über Filtermechanismen nach bestimmten Ressourcen durchsucht werden. Werden vermeintlich zutreffende Ressourcen gefunden, so kann eine Reservierung der Ressourcen für das Fahrzeugprojekt erfolgen. Auch die Möglichkeit einer verteilt stattfindenden Bewertung der Ressourcen wurde diskutiert. Allerdings ist noch die Frage ungeklärt, inwieweit mittels der Planungssoftware automatische Vorüberprüfungen hinsichtlich der Eignung der Ressourcen in Abhängigkeit von den Randbedingungen eines Fahrzeug-

projektes stattfinden können. In diesem Zusammenhang müsste geprüft werden, welche Ressourcedaten zwingend in der Bibliothek vorhanden sein müssen, damit automatische Vorüberprüfungen durchführbar sind.

Der erarbeitete Prozessgraph mit seinen speziellen Verbindungstypen vereinfacht die Austaktung. Die im Prozessgraphen hinterlegten Austaktungsinformationen stellen sowohl bei der rein manuellen als auch der rechnerunterstützten Austaktung einen Mehrwert dar. Die Nutzung der Software ALB bringt Vorteile mit sich, da eine manuelle Berechnung von Stationszeiten entfällt und zudem die Platzverhältnisse in den Materialzonen betrachtet werden können. Ferner besteht bei Anwendung einer bestimmten Methodik die Möglichkeit, schnell und einfach Abdriftuntersuchungen für definierte Produktvarianten durchzuführen. In Abschnitt 5.2.1 bzw. Abschnitt 5.2.5 wurde bereits diskutiert, welche Produktvarianten hierbei primär zu berücksichtigen sind. Das Risiko einer suboptimalen Austaktung wird durch das geschilderte Vorgehen reduziert. Allerdings werden bis dato die unterschiedlichen Verbindungstypen nicht vollständig softwareseitig interpretiert, was teilweise eine erneute Betrachtung des Prozessgraphen parallel zur Austaktungsaktivität erforderlich macht. Des Weiteren sind bereits Überlegungen angestellt worden, wie prozessgruppenübergreifend weitere austaktungsrelevante Informationen definiert werden können. Verletzungen von Vorrangbeziehungen, die bei Prozessverschiebungen oder variantenspezifischen Prozessaufteilungen auftreten können, sollten zukünftig vollständig softwareseitig erkannt und dem Planer per Warnmeldung mitgeteilt werden.

Die Ressourcebedarfsplanung ist bisher ebenfalls eine Tätigkeit, die rein manuell ausgeführt wird. Es wird jedoch als möglich erachtet, dass auch softwareseitig eine Lösung realisiert werden kann, um nach der Austaktung rechnerunterstützt Mengenbedarfsanalysen durchführen zu können.

Die Volumenflexibilitätsbetrachtung bedingt bis dato ebenfalls einen hohen manuellen Planungsaufwand. In diesem Bereich sind Überlegungen anzustellen, wie die verantwortlichen Planer effizient unterstützt werden können. Es wäre sinnvoll ein zusätzliches wissensbasiertes Softwaremodul zu realisieren, welches die Betrachtung unterschiedlicher Szenarien auf einfache Weise zulässt. Systemseitig sollten Lösungsvorschläge erfolgen, falls beim Entwurf von Montagestationen Flexibilitätsanforderungen nicht erfüllt sind. Hierbei müssten von der Software sowohl technische als auch wirtschaftliche Faktoren berücksichtigt werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen dieser Arbeit ist ein spezieller variantenorientierter Planungsansatz für die Auslegung von Endmontagelinien in der Automobilindustrie vorgestellt worden, der dazu beiträgt, das Risiko von erforderlich werdenden zeit- und kostenintensiven Änderungsschleifen, die überwiegend aufgrund des derzeitigen Mangels an Transparenz im Planungsgeschehen auftreten können, zu reduzieren. Für eine überschaubare Menge an wichtigen Produktvarianten erfolgt bereits in den frühen Phasen eine explizite Montageplanung. Ferner wird den Aspekten der Wiederverwendung bestehender Ressourcen sowie der Volumenflexibilität der Linie besondere Beachtung geschenkt.

Es werden spezielle Prozess- und Ressourcegraphen erstellt, die aus montagetechnischer Sicht unmittelbar die Unterschiede unter den Produktvarianten offenbaren und die als objektive Entscheidungs- und Argumentationsgrundlage von Planern und Projektverantwortlichen herangezogen werden können. Die Graphen sind, bei Kenntnis der zugrunde liegenden Regeln in Hinblick auf deren Erstellung, leicht und unmissverständlich für alle im Planungsprozess beteiligten Personen zu verstehen. In den Prozessgraphen werden ferner austaktungsrelevante Informationen dokumentiert, was das Zusammenspiel von Prozessplanung und Austaktung entscheidend verbessert und die spätere Verteilung der Prozesse auf Stationen und Werker vereinfacht. Der parallel zur Prozessplanung erstellte Ressourcegraph besitzt zwar lediglich eine temporäre Gültigkeit, jedoch kann dieser für eine erste Ressourceabschätzung inklusive einer Investitionsbetrachtung und den Start einer Wiederverwendungsplanung herangezogen werden.

Der Planungsprozess kann ohne anfängliche Restriktionen in Bezug auf wieder zu verwendende Montageressourcen gestartet werden. Ressourcen, die für eine Mehrfachnutzung in Frage kommen, kristallisieren sich bei dem vorgestellten Planungsansatz automatisch heraus. Eine zu nutzende digitale Wiederverwendungsbibliothek beinhaltet die Informationen über das vorhandene und prinzipiell zur Verfügung stehende Equipment und erlaubt die Reservierung einer Ressource für das Fahrzeugprojekt. Die Nutzung bereits vorhandener Ressourcen

in einem neuen Fahrzeugprojekt reduziert das erforderliche Investitionsvolumen in Montage- und Prüfequipment.

Im Anschluss an die Austaktung und die Wiederverwendungsplanung erfolgt eine präzisere Ressourcebedarfsplanung mitsamt einer kombiniert stattfindenden Volumenflexibilitätsbetrachtung. Im Rahmen der Volumenflexibilitätsbetrachtung kann eine Absicherung gegenüber verschiedenen, eigentlich nicht vorgesehenen Ausbringungsszenarien, die nach SOP eintreten können, erfolgen. Lösungsansätze können bereits im Vorfeld für mögliche Extremsituationen erarbeitet werden, so dass im tatsächlichen Fall des Eintritts einer Extremsituation schnell und unter wirtschaftlich vertretbaren Bedingungen eine Anpassung der Ausbringungsmenge der Linie stattfinden kann.

Bezüglich der Austaktung sowie der durchzuführenden digitalen Absicherungen sind zwar keine gravierenden Änderungen vorgesehen, jedoch ergeben sich auch hier durch die Betrachtung bestimmter Produktvarianten, die als wirtschaftlich bzw. technisch bedeutsam eingestuft wurden, Vorteile. Nach einer Austaktung basierend auf der durchschnittlichen Teileverbauzeit kann z. B. umgehend eine produktvariantenspezifische Abdriftuntersuchung pro Station durchgeführt werden, so dass sich transparente Ergebnisse in Hinblick auf die tatsächliche Qualität und Effizienz der Austaktung ergeben.

In Summe wird durch die realisierten methodischen Veränderungen sowie operativen Verbesserungen das derzeit existierende Planungsrisiko in den frühen Phasen der Endmontageplanung reduziert. Die Übersichtlichkeit und Transparenz der Graphen hilft bei der Identifikation kritischer Montageabschnitte und kann, wie bereits erwähnt, als objektive Entscheidungs- und Argumentationsgrundlage herangezogen werden. Das Risiko, dass inakzeptable Prozess- und Ressourcekonstellationen zwischenzeitlich unentdeckt bleiben, wird herabgesetzt. Durch das verbesserte Zusammenspiel von Prozessplanung und Austaktung findet ebenfalls eine Risikoreduzierung hinsichtlich möglicher falscher bzw. unzulässiger Prozessverteilungen auf Werker und Stationen statt. Ferner wird das Risiko einer suboptimalen Austaktung minimiert, indem bereits frühzeitig eine variantenbezogene Abdrift- und Effizienzbetrachtung für einzelne, als wichtig eingestufte Produktvarianten stattfindet. Durch die Integration einer Wiederverwendungsplanung und Volumenflexibilitätsbetrachtung in den Planungsablauf werden zudem die Risiken von ressourceseitigen Fehlinvestitionen sowie ausbringungsinflexiblen Bereichsgestaltungen minimiert.

7.2 Möglichkeiten für weitere Forschungsaktivitäten

Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit sind im Speziellen die frühen Phasen der Endmontageplanung in der Automobilindustrie. Ein umfassender Ansatz zur Risikoreduzierung muss letztlich jedoch alle Planungsphasen eines Fahrzeugprojektes abdecken und darüber hinaus auch für die Gewerke Presswerk, Rohbau, Oberfläche (Lackiererei) und Powertrain (Antriebsstrang) geeignete methodische und operative Ansätze zur Risikoeindämmung liefern. Es wäre generell zu prüfen, inwieweit die vorgestellte Herangehensweise an die Problematik auch eine Gültigkeit in anderen Produktionsbereichen der Automobilindustrie hat und welche Potentiale sich noch in späteren Planungsphasen hinsichtlich einer Risikoreduzierung ergeben.

Die Thematik der graphenbasierten Planung wird auch noch zukünftig in dem EU-Projekt MyCar diskutiert. Allerdings geschieht dies dort vor einem anderen Hintergrund. Auf Basis von Prozess- und Ressourcegraphen sollen Integrationsszenarien schnell und präzise bewertet werden können. Ohne großen Aufwand soll eine Überprüfung stattfinden können, ob eine Fahrzeugbaureihe, die derzeit auf einer separaten Linie montiert wird, ebenfalls auf einer anderen Montagelinie, die für die Fertigstellung einer anderen Baureihe ausgelegt ist, erfolgen kann. Die Prozess- und Ressourcegraphen beider Baureihen gilt es zu überlagern, und das Superpositionsergebnis muss in Bezug auf die resultierende Varianz interpretiert und hinsichtlich seiner Sinnhaftigkeit bewertet werden. Ferner muss zudem überprüft werden, inwieweit die Austaktung durch die Montageabsicht der zusätzlichen Baureihe beeinflusst wird, welche Umbaumaßnahmen gegebenenfalls einzuleiten wären und welche Kosten durch solch ein Unterfangen entstehen würden. Letztlich dürfen sowohl aus technischer sowie wirtschaftlicher Sicht keine Zweifel an der Mixproduktion der beiden Baureihen auf der favorisierten Montagelinie bestehen, damit eine Umsetzung des Szenarios stattfinden kann.

Die Vorteile, die Prozess- und Ressourcegraphen bieten, wurden bereits in dieser Arbeit erörtert. Theoretisch könnte auch noch über die Erstellung eines Produktgraphen nachgedacht werden. Dieser müsste ebenfalls spezielle Graphenelemente beinhalten, die z. B. die Unterschiede zwischen den Teilevarianten und die Zusammenhänge unter den Teilen klar spezifizieren. Mittels eines Produktgraphen wäre es möglich die vorherrschende produktseitige Varianz anschaulich und nachvollziehbar darzustellen und ferner könnte ein Produktgraph eindeutig mit dem Prozess- bzw. Ressourcegraph in Beziehung gesetzt werden. Durch dieses

Vorgehen wären vermutlich zusätzliche Erkenntnisse in Bezug auf die produktseitige Ausgangs- und die resultierende prozess- und ressourceseitige Folgevarianz zu erlangen. Beim längerfristigen Einsatz der Graphen und deren systematischer Auswertung kann zudem davon ausgegangen werden, dass Automobilhersteller über die Zeit neues Wissen auf diesem Gebiet aufbauen werden, welches wiederum für neue Fahrzeugprojekte genutzt werden kann. Im Rahmen weiterer Untersuchungen wäre zu klären, inwieweit diese Aussagen tatsächlich zutreffend sind.

Wie in Kapitel 6 gezeigt, wurde nicht nur auf methodische Änderungen Wert gelegt, sondern auch softwareseitig mit Unterstützung der Cenit AG an Verbesserungen der DELMIA Software DPE und ALB in Bezug auf das spezielle Szenario gearbeitet. Bedeutsame Modifikationen wurden zwar bereits erfolgreich durchgeführt, allerdings sind die Aktivitäten auf diesem Gebiet noch nicht abgeschlossen. Bis dato kann lediglich von einer prototypischen Umsetzung der speziellen digitalen Umgebung gesprochen werden, die noch weiteres Potential für Verbesserungen birgt. Die Aspekte der Benutzerfreundlichkeit und Betriebsstabilität der Software gilt es zukünftig weiter zu verbessern, und der aktuell zu erbringende manuelle Aufwand zur Modellerstellung bzw. -änderung muss weiter reduziert werden. Softwareseitiges Wunschziel ist es, letztlich zu einer intelligenten digitalen Umgebung zu gelangen, die den Nutzer automatisch auf vermeintlich suboptimale Gegebenheiten aufmerksam macht und zudem gleichzeitig dem Anwender Verbesserungsvorschläge unterbreitet. Die Software soll dabei in der Lage sein sowohl technische als auch wirtschaftliche Aspekte generell sowie variantenspezifisch zu überprüfen.

Da sich die Planungsabläufe von OEM zu OEM im Detail unterscheiden, kann letztlich nicht davon ausgegangen werden, dass sich das Konzept in Gänze ohne weitere Anpassungen bei Automobilherstellern integrieren lässt. Zwar wurde dem Integrationsgedanken bei der Konzepterstellung besondere Beachtung geschenkt, bei einer bevorstehenden Integration müssen jedoch individuelle Aspekte und Randbedingungen mitberücksichtigt werden. Unternehmensbedingte Konzeptanpassungen sind somit generell nicht auszuschließen. In einigen Fällen kann es auch sinnvoll sein, lediglich Teile des speziellen Ansatzes zu verwenden. Besteht bei potentiellen Nutzern der Wunsch für ein Fahrzeugprojekt einen Gesamtprozess- bzw. Gesamtressourcegraph zu erzeugen, so muss sich letztlich auch noch intensiver mit der technischen Frage der Generierung eines solchen Graphen aus Teilgraphen auseinandergesetzt werden.

Literaturverzeichnis

[AhMa07] Ahrendts, F.; Marton, A.: IT-Risikomanagement leben! Wirkungsvolle Umsetzung für Projekte in der Softwareentwicklung, Springer Verlag, 2007.

[AvBW07] Avgoustinov, N.; Bley, H.; Weyand, L.: Influence of the Software Models' Intelligence on their Flexibility, Reconfigurability and Agility, Proceedings of the 2nd International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV), Page 433-442, 2007.

[Avgo07] Avgoustinov, N.: Modelling in Mechanical Engineering and Mechatronics – Towards Autonomous Intelligent Software Models, Springer Verlag, 2007.

[BaBM06] Barkawi, K.; Baader, A.; Montanus, S.: Erfolgreich mit After Sales Services – Geschäftsstrategien für Servicemanagement und Ersatzteillogistik, Springer Verlag, 2006.

[Bär08] Bär, T.: Flexibility Demands on Automotive Production and their Effects on Virtual Production Planning, Proceedings of the 2nd CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS), Page 16-28, 2008.

[BDVH03] Burr, H.; Deubel, T.; Vielhaber, M.; Haasis, S.; Weber, C.: Challenges for CAx and EDM in an International Automotive Company, Proceedings of the International Conference on Engineering Design (ICED), Paper 1506, 2003.

[BeCa07] Berndt, R.; Cansier, A.: Produktion und Absatz, Springer Verlag, 2007.

[Beck07] Becker, H.: Auf Crashkurs – Automobilindustrie im globalen Verdrängungswettbewerb, Springer Verlag, 2007.

[Beer08] Beer, S.: Verbesserung der Anlaufperformance durch den Einsatz von Frontloading-Maßnahmen, in: Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen – Ein Leitfaden für die Praxis, Springer Verlag, Seite 43-52, 2008.

[Bern05a] Berndt, R.: Marketingstrategie und Marketingpolitik, Springer Verlag, 2005.

[Bern05b] Bernardi, M.: Gestaltung eines mechatronikorientierten Entwicklungsprozesses für mobile Arbeitsmaschinen und des dazugehörigen Entwicklungsumfeldes, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 32, Dissertation, LFT Saarbrücken, 2005.

[Bley05] Bley, H.: Umdrucke zur Vorlesung „Grundlagen der technischen Produktionsplanung I“, Universität des Saarlandes, LFT, 2005.

[BlFZ03] Bley, H.; Franke, C.; Zenner, C.: Integrated Data Management and Variant Management – Milestones on the Way to the Digital Factory, Production Engineering, Volume X/1, Annals of the German Academic Society for Production Engineering, Page 105-108, 2003.

[BlFZ04] Bley, H.; Franke, C.; Zenner, C.: The User as the Main Focus for the Actual Realization of the Digital Factory, International Conference on Competitive Manufacturing, Page 337-342, 2004.

[BlFZ06] Bley, H.; Fritz, J.; Zenner, C.: Die zwei Seiten der Digitalen Fabrik – Software-Werkzeug und Methode, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF), Seite 19-23, 2006.

[Blum06] Blumenau, J.-C.: Lean Planning unter besonderer Berücksichtigung der Skalierung wandlungsfähiger Produktionssysteme, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 36, Dissertation, LFT Saarbrücken, 2006.

[BlWe08] Bley, H.; Weyand, L.: Modelling Resources for Production Lines based on Process Descriptions, Proceedings of the 6th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (ICME), Page 51-54, 2008.

[BlZe05] Bley, H.; Zenner, C.: Handling of Process and Resource Variants in the Digital Factory, CIRP Journal of Manufacturing Systems, Volume 34/2, Page 187-194, 2005.

[BlZe06] Bley, H.; Zenner, C.: Variant-oriented Assembly Planning, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 55/1, Page 23-28, 2006.

[BoSG07] Boppert, J.; Schedlbauer, M.; Günthner, W. A.: Zukunftsorientierte Logistik durch adaptive Planung, in: Neue Wege in der Automobillogistik – Die Vision der Supra-Adaptivität, Springer Verlag, Seite 345-372, 2007.

[BoSS97] Boutellier, R.; Schuh, G.; Seghezzi, H. D.: Industrielle Produktion und Kundennähe – ein Widerspruch?, in: Komplexität und Agilität – Steckt die Produktion in der Sackgasse?, Springer-Verlag, Seite 37-63, 1997.

[Boss07] Bossmann, M.: Feature-basierte Produkt- und Prozessmodelle in der integrierten Produktentstehung, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 38, Dissertation, LFT Saarbrücken, 2007.

[BrOs00] Bracht, U.; Ostermann, A.: Neuronale Netze helfen mit – Hybride Materialflusssimulation zur Effizienzsteigerung im Umgang mit großen Simulationsmodellen, Tagungsband zur ASIM, Seite 339-355, 2000.

[BrRA08] Bracht, U.; Rooks, T.; Adrian, R.: Virtuelle Logistikplanung für die Montage im Rahmen der Digitalen Fabrik, Tagungsband zur ASIM, Seite 439-447, 2008.

[BRSB04] Bley, H.; Reinhart, G.; Seliger, G.; Bernardi, M.; Korne, T.: Appropriate Human Involvement in Assembly and Disassembly, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 53/2, Page 487-509, 2004.

[BSEM05] Bracht, U.; Schlange, C.; Eckert, C.; Masurat, T.: Datenmanagement für die Digitale Fabrik, Forschungsorientierter Modellansatz für ein effizientes Datenmanagement im heterogenen Planungsumfeld, in: wt-online 04/2005, Seite 197-204, 2005.

[Bull86] Bullinger, H.-J.: Systematische Montageplanung – Handbuch für die Praxis, Carl Hanser Verlag, 1986.

[Burr08] Burr, H.: Informationsmanagement an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktionsplanung im Karosserierohbau, Schriftenreihe Produktions-technik, Band 44, Dissertation, LKT Saarbrücken, 2008.

[CMPM09] Chryssolouris, G.; Mavrikios, N.; Papakostas, N.; Mourtzis, D.; Michalos, G.; Georgoulias, K.: Digital manufacturing – history, perspectives and outlook, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers (IMechE), Volume 223, Part B, Page 451-462, 2009.

[CoSW07] Consiglio, S.; Seliger, G.; Weinert N.: Development of Hybrid Assembly Workplaces, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 56/1, Page 37-40, 2007.

[Delm07a] N. N.: Anwendung – Prozessgraph, Benutzerhandbuch zu DELMIA Process Engineer, Version 5.18, 2007.

[Delm07b] N. N.: Anwendung – Automatic Line Balancing, Benutzerhandbuch zu DELMIA Process Engineer, Version 5.18, 2007.

[EASP09] ElMaraghy, H. A.; Azab, A.; Schuh, G.; Pulz, C.: Managing variations in products, processes and manufacturing systems, CIRP Annals – Manufacturing Technology, Volume 58/1, Page 441-446, 2009.

[EiSt01] Eigner, M.; Stelzer, R.: Produktdatenmanagement-Systeme – Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management, Springer-Verlag, 2001.

[ElMa05] ElMaraghy, H. A.: Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms, in: International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Volume 17/4, Page 261-276, 2005.

[ElMa09] ElMaraghy, H. A.: Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems, Springer Series in Advanced Manufacturing, Springer Verlag, 2009.

[EvAb03] Eversheim, W.; Abels, I.: Simulationsgestützte Personaleinsatzplanung in der Pkw-Endmontage, in: Simulation in der Automobilproduktion, Seite 61-69, 2003.

[Ever97] Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik, Band 4, Fertigung und Montage, Springer Verlag, 1997.

[FeGe08] Feldhusen, J.; Gebhardt, B.: Product Lifecycle Management für die Praxis: Ein Leitfaden zur modularen Einführung, Umsetzung und Anwendung, Springer Verlag, 2008.

[FlHS08] Fleschutz, T.; Harms, R.; Seliger, G.: Evaluation and Computer Aided Planning of Assembly System Reuse, Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Distributed Human-Machine Systems, Page 531-536, 2008.

[Fran98] Franke, H.-J.: Produkt-Variantenvielfalt – Ursachen und Methoden zu ihrer Bewältigung, in: VDI Berichte Nr. 1434, Seite 1-13, 1998.

[Fran03] Franke, C.: Feature-basierte Prozesskettenplanung in der Montage als Basis für die Integration von Simulationswerkzeugen in der Digitalen Fabrik, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 28, Dissertation, LFT Saarbrücken, 2003.

[FrFi98] Franke, H.-J.; Firchau N. L.: Zusammenfassender Zwischenbericht des Kalenderjahrs 1998 für das BMBF-Projekt „Methoden und Werkzeuge zur Kostenreduktion variantenreicher Produktspektren in der Einzel- und Kleinserienfertigung (EVAPRO)“, Technische Universität Braunschweig, 1998.

[Frie08] Friese, M.: Planung von Flexibilitäts- und Kapazitätsstrategien für Produktionsnetzwerke der Automobilindustrie, Dissertation, IFA Hannover, 2008.

[Frit07] Fritz, J. U.: Zielführende Modellierung und Analyse schlanker Fertigungssysteme mit der Digitalen Fabrik, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 41, Dissertation, LFT Saarbrücken, 2007.

[Fusc04] Fusch, T.: Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie, IWB Forschungsberichte, Band 188, Dissertation, IWB München, 2004.

[GeRe04] Geckler, D.; Rehnelt, C.: Die „Digitale Fabrik“ als neue Wissensdrehscheibe zwischen OEM und Zulieferer, in: Projektmanagement aktuell, Seite 26-30, 2004.

[GlFe08] Gleißner, H.; Femerling, J. C.: Logistik, Grundlagen – Übungen – Fallbeispiele, Gabler Verlag, 2008.

[Götz07] Götz, A.: Zukunftsstandort Deutschland?, in: Automobil Produktion, Ausgabe 2, Seite 16-19, 2007.

[Groo07] Groover, M. P.: Automation, production systems and computer-integrated manufacturing, Prentice Hall Verlag, 2007.

[Grun08] Grundmann, T.: Ein anwendungsorientiertes System für das Management von Produkt- und Prozessrisiken, Dissertation, WZL Aachen, 2008.

[GüHe06] Günter, B.; Helm, S.: Kundenwert – Grundlagen, innovative Konzepte, praktische Umsetzungen, Gabler Verlag, 2006.

[HaWa06] Hab, G.; Wagner, R.: Projektmanagement in der Automobilindustrie – Effizientes Management von Fahrzeugprojekten entlang der Wertschöpfungskette, Gabler Verlag, 2006.

[Hein99] Heina, J.: Variantenmanagement – Kosten-Nutzen-Bewertung zur Optimierung der Variantenvielfalt, Gabler-Verlag, 1999.

[Hein07] Hein, D.: Strategisches Risikomanagement im Maschinen- und Anlagenbau, Dissertation, WZL Aachen, 2007.

[HeOM00] Hesselbach, J.; Oetzmann, A.; Menge, M.: Methods for Variant Management – A Database Application to Determine the Appropriate Tool, Proceedings of the 10th International DAAAM Symposium, 2000.

[HiKW08] Himpel, F.; Kaluza, B.; Wittmann, J.: Spektrum des Produktions- und Innovationsmanagements, Komplexität und Dynamik im Kontext von Interdependenz und Kooperation, Gabler Verlag, 2008.

[Holl09] Holland, H.: Kundenbindungsmanagement in der Automobilbranche, Gabler Verlag, 2009.

[HoPi04] Holweg, M.; Pil, F.-K.: The Second Century, Reconnecting Customer and Value Chain Through Build-To-Order, B&T Verlag, 2004.

[HüBa07] Hüttenrauch, M.; Baum, M.: Effiziente Vielfalt – Die dritte Revolution in der Automobilindustrie, Springer Verlag, 2007.

[Imgä04] Imgärtchen, W. H.: Wiederverwendung von Fertigungslinien zur Kostenreduktion, in: TMS Talk, Ausgabe 10, Seite 6-7, 2004.

[Jani04] Jania, T.: Änderungsmanagement auf Basis eines integrierten Prozess- und Produktdatenmodells mit dem Ziel einer durchgängigen Komplexitätsbewertung, Dissertation, Heinz Nixdorf Institut Paderborn, 2004.

[Jona00] Jonas, C.: Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen, IWB Forschungsberichte, Band 145, Dissertation, IWB München, 2000.

[KFHS06] Kniebel, M.; Fleschutz, T.; Harms, R.; Seliger, G.: Method for the Reuse of Assembly Equipment, CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Page 67-71, 2006.

[Kief07] Kiefer, J.: Mechatronikorientierte Planung automatisierter Fertigungszellen im Bereich Karosserierohbau, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 43, Dissertation, LFT Saarbrücken, 2007.

[Kirs09] Kirstein, S.: Unternehmensreputation – Corporate Social Responsibility als strategische Option für deutsche Automobilhersteller, Gabler Verlag, 2009.

[KoHH05] Ko, J.; Hu, S. J.; Huang, T.: Reusability Assessment for Manufacturing Systems, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 54/1, Page 113-116, 2005.

[Krat00] Kratzsch, S.: Prozess- und Arbeitsorganisation in Fließmontagesystemen, Dissertation, IWF Braunschweig, 2000.

[KrLV09] Krüger, J.; Lien, T. K.; Verl, A.: Cooperation of Human and Machines in Assembly Lines, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 58/2, Page 1-24, 2009.

[KrSu08] Krüger, J.; Surdilovic, D.: Robust control of force-coupled human-robot interaction in assembly processes, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 57/1, Page 41-44, 2008.

[Kurb05] Kurbel, K.: Produktionsplanung und -steuerung im Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management, Oldenbourg Verlag, 2005.

[Leop97] Leopold, N.: Ein Planungsverfahren zur Kapazitätsabstimmung für Modell-Mix-Montagelinien am Beispiel einer Automobil-Endmontage, IPA-IAO Forschung und Praxis, Band 254, Dissertation, IPA Stuttgart, 1997.

[Link01] Link, P.: Risikomanagement in Innovationskooperationen, Ein Ansatz zur fairen Aufteilung von Chancen und Risiken, Dissertation, ETH Zürich, 2001.

[Löhr77] Löhr, H.-G.: Eine Planungsmethode für automatische Montagesysteme, Dissertation, IPA Stuttgart, 1977.

[LoWi06] Lotter, B.; Wiendahl, H.-P.: Montage in der industriellen Produktion, Springer Verlag, 2006.

[LuBM07] Lucko, A.; Brockmeyer, H.; Mantwill, F.: Frühzeitige Produktbeeinflussung im automobilen Karosseriebau – Das Projekt Pro^2 Kar, 18. Symposium „Design for X“, Seite 53-64, 2007.

[Marc04] Marczinski, G.: Digitale Fabrik – Anspruchsvolle Technologien sinnvoll einsetzen, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF), Seite 666-669, 2004.

[Maun02] Maune, G.: Möglichkeiten des Komplexitätsmanagements für Automobilhersteller auf Basis durchgehender IT-gestützter Systeme, Dissertation, Paderborn, 2002.

[Meic07] Meichsner, T. P.: Migrationskonzept für einen modell- und variantenflexiblen Automobilkarosseriebau, Dissertation, IPH Hannover, 2007.

[Meng01] Menge, M.: Ein Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der auftragsbezogenen Einzel- und Kleinserienfertigung komplexer Produkte, Dissertation, IWF Braunschweig, 2001.

[MeWe05] Meier, H.; Werding, A.: Assessment of contracting models in workshops, Proceedings of the 11th International Conference on Concurrent Enterprising (ICE), 2005.

[MöSG07] Mößmer, H. E.; Schedlbauer, M.; Günthner, W. A.: Die automobile Welt im Umbruch, in: Neue Wege in der Automobillogistik, Die Vision der Supra-Adaptivität, Seite 3-15, 2007.

[Müll07] Müller, M.: Reifegradbasierte Optimierung von Entwicklungsprozessen am besonderen Beispiel der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 42, Dissertation, LKT Saarbrücken, 2007.

[Nyhu08] Nyhuis, P.: Beiträge zu einer Theorie der Logistik, Springer Verlag, 2008.

[PaLK03] Patchong, A.; Lemoine, T.; Kern, G.: Improving Car Body Production at PSA Peugeot Citroën, in: Interfaces, Volume 33/1, Page 36-49, 2003.

[Pick06] Picker, C.: Prospektive Zeitbestimmung für nicht wertschöpfende Montage-tätigkeiten, Dissertation, Dortmund, 2006.

[PMAM06] Papakostas, N.; Makris, S.; Alexopoulus, D.; Mavrikious, D.; Stournaras, A.; Chryssolouris, G.: Modern Automotive Assembly Technologies – Status and Outlook, 1st CIRP-International Seminar on Assembly Systems, Page 39-44, 2006.

[PoLi08] Ponn, J.; Lindemann, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte – Optimierte Produkte, systematisch von Anforderungen zu Konzepten, Springer Verlag, 2008.

[ReKo02] Reinfelder, A.; Kotz, T.: 40 Prozent weniger Planungszeit, in: Automobil Produktion, Ausgabe 5, Seite 24-36, 2002.

[ReWe07] Reinhart, G.; Werner, J.: Flexible Automation for the Assembly in Motion, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 56/1, Page 25-28, 2007.

[ReWü07] Reinhart, G.; Wünsch, G.: Economic application of virtual commissioning to mechatronic production systems, in: Production Engineering – Research and Development, Page 371-379, 2007.

[Rosc07] Roscher, J.: Bewertung von Flexibilitätsstrategien für die Endmontage in der Automobilindustrie, Dissertation, IPA Stuttgart, 2007.

[Ross02] Ross, P.: Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung, IWB Forschungsberichte, Band 170, Dissertation, IWB München, 2002.

[Rudo06] Rudolf, H.: Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie, IWB Forschungsberichte, Band 204, Dissertation, IWB München, 2006.

[RüSa09] Rützel, S.; Saul, M.: Virtuelle Entwicklung einer Rohbautür unter Einsatz der Simulation, in: VDI-Berichte Nr. 2064, Seite 49-64, 2009.

[SAKR05] Schäppi, B.; Andreasen, M. M.; Kirchgeorg, M.; Rademacher, F.-J.: Handbuch Produktentwicklung, Hanser Verlag, 2005.

[ScFr07] Scholz-Reiter, B.; Freitag, M.: Autonomous Processes in Assembly Systems, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 56/2, Page 712-729, 2007.

[Schi91] Schimke, E.: Montageplanung – Methoden, Fallbeispiele, Praxiserfahrung, VDI Verlag, 1991.

[Schl05] Schlögl, W.: Bringing the Digital Factory into Reality – Virtual Manufacturing with Real Automation Data, Proceedings of the 1st International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV), Page 187-192, 2005.

[Schl08] Schlögl, W.: Digitale Fabrik 2.0 – Die Digitale Fabrik am Übergang zur realen Fabrik, in: Fertigungstechnisches Kolloquium Stuttgart (FTK), Seite 453-461, 2008.

[Schm00] Schmälzle, A.: Bewertungssystem für die Generalüberholung von Montageanlagen, Dissertation, WBK Karlsruhe, 2000.

[Schn08] Schneider, M.: Logistische Prozesse in der Digitalen Fabrik – Softwareunterstützte Planung nach dem „Line-back-Prinzip“, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF), Seite 23-27, 2008.

[Schr03] Schraft, R. D.: Von der Vision zur Realität durch die Digitale Fabrik, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF), Seite 268-269, 2003.

[Schr08] Schröer, K.: Flexibility, Standards and Reuse – Strategic Challenges and Decisions for the Volkswagen Body-Shop, Proceedings of the 26th European Car Body Conference, Page 171-186, 2008.

[Schu88] Schuh, G.: Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten – Ein Beitrag zur systematischen Planung von Serienprodukten, Dissertation, RWTH Aachen, 1988.

[Schu06] Schuh, G.: Produktionsplanung und -steuerung, Grundlagen, Gestaltung und Konzepte, Springer Verlag, 2006.

[ScSe02] Schiller, E. F.; Seufert, W.-P.: Digitale Fabrik bei DaimlerChrysler – Bis 2005 realisiert, in: Automobil Produktion, Ausgabe 2, Seite 4-10, 2002.

[ScSS08] Schuh G.; Stölzle, W.; Straube, F.: Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen, Springer Verlag, 2008.

[Spat00] Spath, D.: Wiederverwendung von Montageanlagen – Ein ökonomisches Potential für Anlagenhersteller, in: VDI Berichte Nr. 1570, Seite 95-113, 2000.

[Stro06] Strohmeier, G.: Ganzheitliches Risikomanagement in Industriebetrieben, Grundlagen, Gestaltungsmodell und praktische Anwendung, Dissertation, Leoben, 2006.

[Sysk06] Syska, A.: Produktionsmanagement, Das A-Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute, Gabler Verlag, 2006.

[Temp06] Tempelmeier, H.: Material-Logistik – Modelle und Algorithmen für die Produktionsplanung und -steuerung in Advanced Planning-Systemen, Springer Verlag, 2006.

[Tied07] Tiedtke, J. R.: Allgemeine BWL, Betriebswirtschaftliches Wissen für kaufmännische Berufe – Schritt für Schritt, Gabler Verlag, 2007.

[VBDW04] Vielhaber, M.; Burr, H.; Deubel, T.; Weber, C.; Haasis, S.: Assembly-oriented Design in Automotive Engineering, Proceedings of the 8th International Design Conference, Page 539-546, 2004.

[VoKH06] Vollstedt, T.; Körner, S.; Haase, L.: Integrierte Montage- und Logistikplanung, in: VDI-Z, Nr.10, Seite 58-60, 2006.

[VWBZ09] Vajna, S.; Weber, C.; Bley, H.; Zeman, K.: CAx für Ingenieure – Eine praxisbezogene Einführung, Springer Verlag, 2009.

[WaBl03] Wagner, T.; Blumenau, J.-C.: The Digital Factory, more than a planning environment, Proceedings of the 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Page 7-12, 2003.

[Wagn06] Wagner, W.: Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion, IWB Forschungsberichte, Band 195, Dissertation, IWB München, 2006.

[WBHZ01] Westkämper, E.; Bullinger, H.-J.; Horvath, P.; Zahn, E.: Montageplanung – effizient und marktgerecht, Springer Verlag, 2001.

[WBKM08] Weyand, L.; Bley, H.; Kaiser, J.-M.; Meißner, R.; Bär, T.: Production Oriented Design-Checks in Car Manufacturing – Not Only a Question of Powerful Digital Validation Tools, Proceedings of the 6th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (ICME), Page 175-178, 2008.

[WeBl08a] Weyand, L.; Bley, H.: Risks and Chances in Automotive Final Assembly Planning, Proceedings of the 2nd CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS), Page 459-468, 2008.

[WeBl08b] Weyand, L.; Bley, H.: Future Challenges in Process/Resource Planning Due to Increasing (Product) Variants, Proceedings of the 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems, Page 235-238, 2008.

[WeBu00] Weule, H.; Buchholz, C.: Re-Use of Assembly Systems – A great Ecological and Economic Potential for Facility Supplier, Proceedings of SPIE, Volume 4193, Page 44-56, 2000.

[Wemh05] Wemhöner, N.: Flexibilitätsoptimierung zur Auslastungssteigerung im Automobilrohbau, Dissertation, WZL Aachen, 2005.

[WENZ07] Wiendahl, H.-P.; ElMaraghy, H. A.; Nyhuis, P.; Zäh, M. F.; Wiendahl, H.-H.; Duffie, N.; Brieke, M.: Changeable Manufacturing – Classification, Design and Operation, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 56/2, Page 783-809, 2007.

[Wien07] Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure, Hanser Verlag, 2007.

[WiHe04] Wiendahl, H.-P.; Heger, C. L.: Justifying Changeability – A Methodical Approach to Achieving Cost Effectiveness, in: The International Journal For Manufacturing Science & Production, Volume 6/1-2, Page 33-39, 2004.

[Wüns07] Wünsch, G.: Methoden für die virtuelle Inbetriebnahme automatisierter Produktionssysteme, IWB Forschungsberichte, Band 215, Dissertation, IWB München, 2007.

[ZäMV05] Zäh, M. F.; Möller, N.; Vogl, W.: Symbiosis of Changeable and Virtual Production – The Emperor's New Clothes or Key Factor for Future Sucess?, Proceedings of the 1st International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV), Page 3-10, 2005.

[ZäMW04] Zäh, M. F.; Munzert, U.; Wünsch, G.: Simulation von Montageanlagen in der Automobilindustrie – Hardware-in-the-Loop-Technologie für den Virtual Ramp-up, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF), Seite 18-21, 2004.

[ZäPF03] Zäh, M. F.; Patron, C.; Fusch, T.: Die Digitale Fabrik – Definition und Handlungsfelder, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF), Seite 75-77, 2003.

[Zenn06] Zenner, C.: Durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung, Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 37, Dissertation, LFT Saarbrücken, 2006.

[Zülc08] Zülch, G.: Beiträge der Arbeits- und Betriebsorganisation zur Beschäftigungssicherung, Gabler Verlag, 2008.

Normen und Richtlinien:

[DIN199] DIN 199, Teil 2: Begriffe im Zeichnungs- und Stücklistenwesen, Beuth Verlag, 1977.

[DIN8593] DIN 8593: Fertigungsverfahren Fügen – Teil 0: Allgemeines, Beuth Verlag, 1985.

[VDI2247] VDI-Richtlinie 2247: Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung, VDI-Verlag, 1994.

[VDI3633] VDI-Richtlinie 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen, Blatt 1, VDI-Verlag, 1995.

[VDI4499] VDI-Richtlinie 4499: Digitale Fabrik – Grundlagen, Blatt 1, VDI-Verlag, 2008.

Verzeichnis der im Themenbereich betreuten Arbeiten sowie Industrieprojekte:

[Reif09] Reifferscheid, N.: Erzielung von Ausbringungsflexibilität in der automobilen Endmontage, Studienarbeit, LFT Saarbrücken, 2009.

[Steu09] Steuer, P.: Frühzeitige graphenbasierte Ressourceabschätzung in der automobilen Endmontageplanung, Studienarbeit, LFT Saarbrücken, 2009.

[WSRF07] Weyand, L.; Schmitt, B.; Reifferscheid, N., Feld, D.: Wiederverwendung von Ressourcen aus Vorgängerlinien unter Berücksichtigung des digitalen Planungsumfelds im Automobilbau, Abschlussbericht zu einem Industrieprojekt mit der Daimler AG, LFT Saarbrücken, 2007.

Abkürzungsverzeichnis

ALB	Automatic Line Balancing (DELMIA Anwendung)
BOM	Bill-of-Materials
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
DPE	DELMIA Process Engineer (DELMIA Anwendung)
EDM	Engineering Data Management
ERP	Enterprise Resource Planning
FIN	Fahrzeug-Identifizierungsnummer
MTM	Methods-Time Measurement
OEM	Original Equipment Manufacturer
PDM	Product Data Management
PLC	Product Life Cycle
PPR	Produkt, Prozess und Ressource
PPS	Produktionsplanungs- und Steuerung
SOP	Start Of Production
SUV	Sport-Utility Vehicle

Anhang

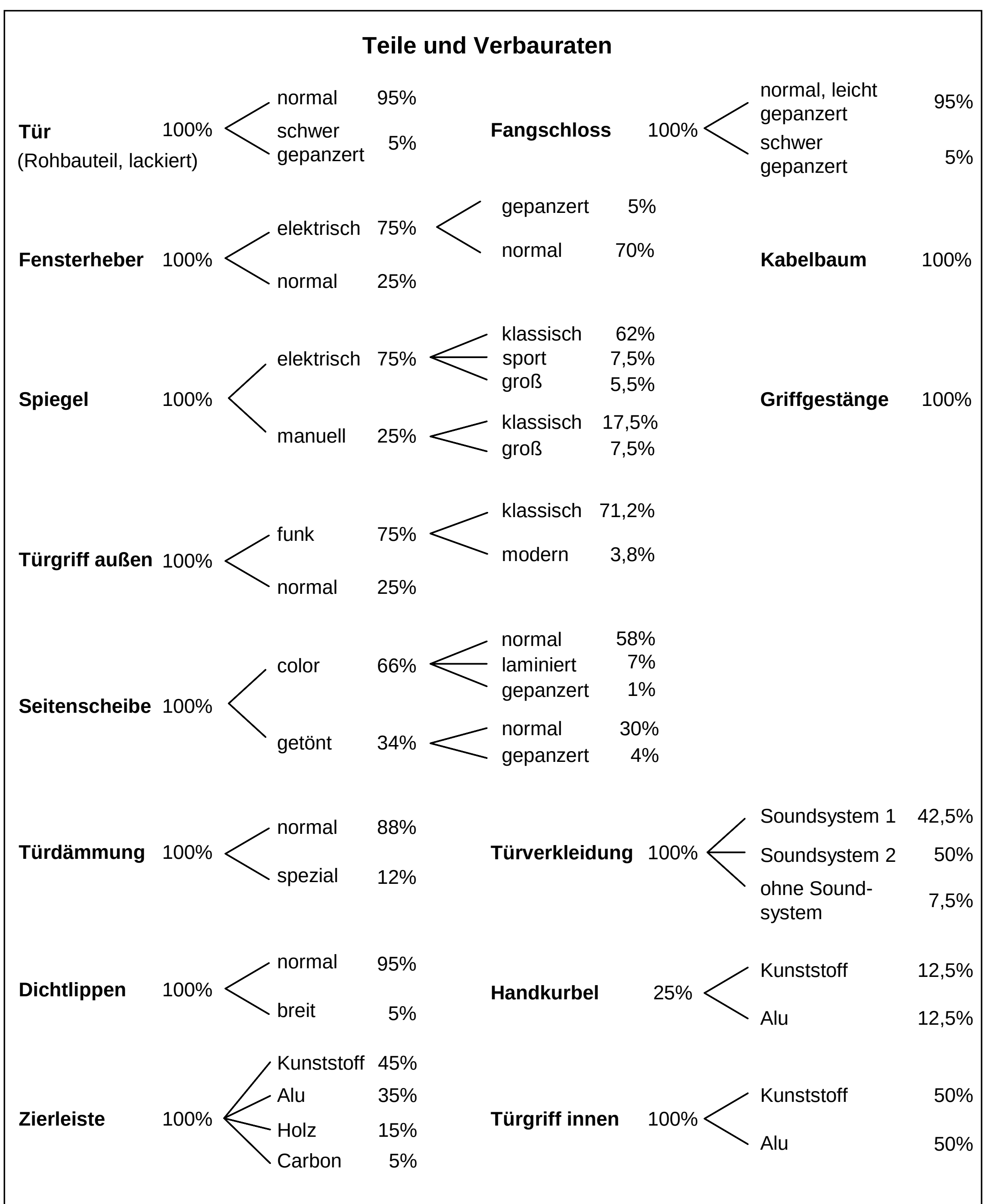


Abbildung A-1: Teile und Verbauraten aus dem Praxisbeispiel

Im Graphen enthaltene Prozesse

Prozesse	Beschreibung	Zeit
P001	Tür (normal) aus Bereitstellung nehmen und zum Verbauort transportieren	0,25 min
P055	Tür (schwer gepanzert) mit Handhabungsgerät aus Bereitstellung nehmen und zum Verbauort transportieren	0,65 min
P002	Tür in Aufnahmevorrichtung einhängen und fixieren	1,00 min
P003	Kabelbaum aus Bereitstellung nehmen und zum Verbauort transportieren	0,25 min
P004	Kabelbaum verclipsen und Leitungen verlegen	1,00 min
P005	Fangschloss mit integriertem Stellmotor aus Bereitstellung nehmen und zum Verbauort transportieren	0,25 min
P006	Fangschloss (normal) mit integriertem Stellmotor 3x verschrauben	0,50 min
P056	Fangschloss (schwer gepanzert) mit integriertem Stellmotor 4x verschrauben	0,75 min
P007	Fangschloss mit integriertem Stellmotor kontaktieren	0,25 min
P008	Griffgestänge aus Bereitstellung nehmen und zum Verbauort transportieren	0,25 min
P009	Griffgestänge einbauen	0,75 min
P010	Griffgestänge fetten	0,25 min
P011	Türgriff außen aus Bereitstellung nehmen und zum Verbauort transportieren	0,25 min
P012	Türgriff außen (funk) kontaktieren	0,25 min
P013	Türgriff außen (funk) einhängen	0,75 min
P041	Türgriff außen (normal) einhängen	0,50 min
P014	Türgriff außen (klassisch, funk) 3x verschrauben	0,50 min
P042	Türgriff außen (normal) 2x verschrauben	0,35 min
PP01	Funktionsprüfung Türgriff außen (funk) mit Sender	0,80 min
PP08	Funktionsprüfung Türgriff außen (normal)	0,60 min
P015	Fensterheber aus Bereitstellung nehmen und zum Verbauort transportieren	0,25 min
P016	Fensterheber (elektr.) einsetzen und fixieren	0,20 min
P043	Fensterheber (manuell) einsetzen und fixieren	0,25 min
P057	Fensterheber (elektr.) für schwer gepanzerte Scheibe einsetzen und fixieren	0,30 min
P017	Fensterheber (elektr.) 4x verschrauben	0,60 min
P044	Fensterheber (manuell) 3x verschrauben	0,40 min
P058	Fensterheber (elektr.) für schwer gepanzerte Scheibe 6x verschrauben	0,80 min
P018	Fensterheber (elektr.) kontaktieren	0,25 min
P019	Montageschutz für Seitenscheibe aufstecken	0,08 min
P020	Seitenscheibe (normal) aus Bereitstellung nehmen und transportieren	0,25 min
P059	Seitenscheibe (schwer gepanzert) mit Handhabungsgerät aus Bereitstellung nehmen und transportieren	0,40 min
PP02	Sichtprüfung Seitenscheibe (normal, schwer gepanzert) durchführen	0,25 min
P049	Montageschutz für Seitenscheibe (normal) abnehmen (falls Laminierung vom Kunden gewünscht)	0,08 min
P050	Seitenscheibe laminieren	1,50 min
PP10	Sichtprüfung für laminierte Seitenscheibe durchführen	0,15 min
P051	Montageschutz für laminierte Seitenscheibe erneut aufstecken und zum Verbauort transportieren	0,18 min
P021	Seitenscheibe (normal/laminiert, schwer gepanzert) in Fensterschacht einführen und fixieren	0,25 min
P022	Montageschutz für Seitenscheibe abnehmen	0,08 min
P023	Seitenscheibe (normal/laminiert) an Fensterheber 3x verschrauben	0,50 min
P060	Seitenscheibe (schwer gepanzert) an Fensterheber 5x verschrauben	0,75 min
PP03	Verfahrprüfung Seitenscheibe mit Verfahrtool	0,75 min
PP09	Verfahrprüfung Seitenscheibe mit Handkurbel	0,75 min

Tabelle A-1: Prozesse aus dem Praxisbeispiel (1)

Im Graphen enthaltene Prozesse

Prozesse	Beschreibung	Zeit
P024	Dichtlippen aus Bereitstellung nehmen und zum Verbauort transportieren	0,25 min
P025	Dichtlippen aufstecken	0,35 min
P026	Spiegel aus Bereitstellung nehmen	0,20 min
PP04	Sichtprüfung Spiegel durchführen und zum Verbauort transportieren	0,30 min
P027	Spiegel verclipsen	0,08 min
P028	Spiegel 3x verschrauben	0,50 min
P029	Spiegel (elektr.) kontaktieren	0,08 min
P030	Türdämmung aus Bereitstellung nehmen	0,20 min
PP05	Sichtprüfung Türdämmung durchführen und zum Verbauort transportieren	0,25 min
P031	Kleber auf Türdämmung (normal) aufbringen (Außenbahn)	0,60 min
P052	Kleber auf Türdämmung (spezial) aufbringen (Außen- und Innenbahn, mehrspurig)	1,25 min
P032	Türdämmung (normal) ausrichten, anbringen und anpressen	0,45 min
P053	Türdämmung (spezial) ausrichten, anbringen und anpressen	0,65 min
P054	Kleber aushärten (Türdämmung spezial)	0,75 min
PP11	Verklebung prüfen (Türdämmung spezial)	0,50 min
P033	Türverkleidung aus Bereitstellung nehmen und zum Verbauort transportieren	0,25 min
P034	Türverkleidung (Soundsystem 2) kontaktieren	0,16 min
P048	Türverkleidung (Soundsystem 1) kontaktieren	0,20 min
P035	Türverkleidung ausrichten und verclipsen	0,30 min
P036	Türverkleidung 12x verschrauben	1,75 min
P045	Handkurbel aus Bereitstellung nehmen und zum Verbauort transportieren	0,25 min
P046	Handkurbel aufstecken und verrasten	0,08 min
P047	Handkurbel 1x verschrauben	0,16 min
P037	Türgriff innen aus Bereitstellung nehmen	0,20 min
PP06	Sichtprüfung Türgriff innen und zum Verbauort transportieren	0,13 min
P038	Türgriff innen mit Blende aufschrauben (eine Schraube)	0,30 min
P039	Zierleiste aus Bereitstellung nehmen	0,20 min
PP07	Sichtprüfung Zierleiste durchführen und zum Verbauort transportieren	0,21 min
P040	Zierleiste 3x verclipsen	0,08 min

Zusätzlich benötigte Prozesse zum Verbau bzw. zur Prüfung bestimmter nicht im Graphen berücksichtigter Teile

Prozesse	Beschreibung	Zeit
P061	Türgriff außen (modern, funk) 3x verschrauben	0,55 min
P062	Aufkleber "Sport" aufbringen	0,16 min
PP12	Sichtprüfung Aufkleber "Sport" durchführen	0,08 min
PP13	Sichtprüfung Handkurbel (Alu) durchführen	0,08 min

Tabelle A-2: Prozesse aus dem Praxisbeispiel (2)

Lebenslauf

PERSÖNLICHE DATEN

Name:	Lars Weyand
Geburtsdatum, -ort:	24.07.1978 in Saarbrücken
Familienstand:	ledig
Staatsangehörigkeit:	deutsch

SCHULAUSBILDUNG

1985 - 1989	Grundschule Nunkirchen
1989 - 1998	Hochwald-Gymnasium Wadern

STUDIUM

1999 - 2005	Produktionstechnik an der Universität des Saarlandes Abschluss: Diplom-Ingenieur

BERUFSTÄTIGKEIT

2001 - 2004	Wissenschaftliche Hilfskraft Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAD, Universität des Saarlandes
Ab 2006	Wissenschaftlicher Mitarbeiter Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM, Universität des Saarlandes

Universität des Saarlandes

Schriftenreihe Produktionstechnik

Herausgeber: D. Bähre und H. Bley

ISSN 0945-6244

Verzeichnis der bisher erschienenen Bände (Stand: Juni 2010)

Band 1 Schulte, Michael: *Grundlagen der automatischen funktionsorientierten Klassifizierung technischer Gegenstände im Rahmen intelligenter Konstruktionsunterstützungssysteme (CAD-Systeme)*.
ISBN 3-930429-30-6 (1993)

Band 2 Schulte, Michael; Stark, Rainer: *Definition und Anwendung höherwertiger Konstruktionselemente (Design Features) am Beispiel von Wellenkonstruktionen*.
ISBN 3-930429-31-4 (1993)

Band 3 Mischo, Armin: *Modellbasierte Akquisition und Implementierung des technologischen Wissens für die NC-Detailplanung*.
ISBN 3-930429-32-2 (1993)

Band 4 Rech, Karsten: *Regelungsmodell zur Konzipierung der Informationsverarbeitung in der Produktionslogistik*.
ISBN 3-930429-33-0 (1994)

Band 5 Stark, Rainer: *Entwicklung eines mathematischen Toleranzmodells zur Integration in (3D-) CAD-Systeme*.
ISBN 3-930429-34-9 (1994)

Band 6 Dietz, Stefan: *Wissen zur Auswahl von Montagemitteln, seine Aufbereitung und Verarbeitung in CA-Systemen*.
ISBN 3-930429-35-7 (1994)

Band 7 Muth, Michael: *Repräsentation von Konstruktionswissen unter Verwendung des objektorientierten Paradigmas*.
ISBN 3-930429-36-5 (1994)

Band 8 Stadelmeyer, Volker: *Entscheidungsunterstützung zur technischen Planung im Fertigungsbereich*.
ISBN 3-930429-37-3 (1994)

Band 9 Jostock, Jürgen: *Aufbau eines hierarchisch organisierten, wissensunterstützten Fertigungsregelungssystems*.
ISBN 3-930429-38-1 (1994)

Band 10 Müller, Andreas: *Leitlinie zur Problemdefinition bei der Entwicklung von komplexen Montagesystemen*.
ISBN 3-930429-39-X (1994)

Band 11 Labisch, Susanna: *Untersuchung des Kaltpressens pulverförmiger Stoffe mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung der Trockenpressung von Sekundärkornmassen*.
ISBN 3-930429-40-3 (1995)

Band 12 Schmidt, Jürgen: *Untersuchung zur Reinheit spanend bearbeiteter Oberflächen unter besonderer Berücksichtigung des erzeugenden Prozesses*.
ISBN 3-930429-41-1 (1996)

Band 13 Cuber, Michael: *Entwicklung einer Strategie zur qualitätsgerechten Modellierung des Entwicklungs-/Konstruktionsprozesses*.
ISBN 3-930429-42-X (1996)

Band 14 Avgoustinov, Nicolay: *Minimizing the Labour for Exchange of Product Definition Data Among N CAx-Systems*.
ISBN 3-930429-43-8 (1997)

Band 15 Bär, Thomas: *Einsatz der Feature-Technologie für die Integration von Berechnungen in die frühen Phasen des Konstruktionsprozesses*.
ISBN 3-930429-44-6 (1998)

Band 16 Seel, Uwe: *Robotergestützte Zellenkalibrierung als Basis einer Feature-basierten Montageplanung*.
ISBN 3-930429-45-4 (1999)

Band 17 Britten, Werner: *CAD-basierte Übersetzung geometrischer Toleranzen in vektorielle Darstellungen*.
ISBN 3-930429-46-2 (1999)

Band 18 Jung, Dieter: *Praxis- und Prozessnahes Optimierungsmodell (PPO-Modell) zur systematischen, kontinuierlichen Verbesserung komplexer industrieller Prozesse*.
ISBN 3-930429-47-0 (2000)

Band 19 Muth, Michael: *CAD-M (COMPUTER AIDED DESIGN using MULTIMEDIA) – Repräsentation und Nutzung von Konstruktionswissen in verteilten Entwicklungsumgebungen*.
ISBN 3-903429-48-9 (2000)

Band 20 Wuttke, Claas Christian: *Mehrfachnutzung von Simulationsmodellen in der Produktionslogistik*.
ISBN 3-930429-49-7 (2000)

Band 21 Oltermann, Ralf: *Systematik zur Abschätzung von Fertigungstoleranzen auf Grundlage einer Auswertung der laufenden Fertigung*.
ISBN 3-93042-50-0 (2000)

Band 22 Werner, Horst: *Integration von CAx-Funktionalitäten in einem neuartigen Konstruktionssystem*.
ISBN 3-930429-51-9 (2001)

Band 23 Behrning, Stefan: *Messungen von Belegungen durch Fertigungshilfs-stoffe auf metallenen Werkstücken mittels mIR-Fasersonde*.
ISBN 3-930429-52-7 (2001)

Band 24 Thome, Oliver: *Durchgängige Erfassung und Verarbeitung von Toleranzinformationen*.
ISBN 3-930429-53-5 (2001)

Band 25 Junk, Stefan: *Inkrementelle Blechumformung mit CNC-Werkzeugmaschinen: Verfahrensgrenzen und Umformstrategien*.
ISBN 3-930429-54-3 (2003)

Band 26 Braun, Peter: *Entwicklung einer Methodik zur Untersuchung des Einflusses von Kühlschmierstoffen auf das Härteverhalten von Einsatzstählen am Beispiel des Kühlschmierstoffs ARAL Sarol 470 EP und der Einsatzstähle C15, 16MnCr5, 9SMnPb28*.
ISBN 3-930429-55-1 (2003)

Band 27 Rattay, Bernd: *Untersuchung der Einflußgrößen auf die Formfüllung und die Werkzeugbelastungen beim Prägen von Mikrokanalstrukturen in Metallische Bleche.*
ISBN 3-930429-56-X (2003)

Band 28 Franke, Christina: *Feature-basierte Prozesskettenplanung in der Montage als Basis für die Integration von Simulationswerkzeugen in der Digitalen Fabrik.*
ISBN 3-930429-57-8 (2003)

Band 29 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems
ISBN 3-930429-58-6 (2003)

Band 30 Korne, Thomas: *Fertigungsorientierte Analyse und Optimierung von Gruppenarbeit in der Automobil-Endmontage unter besonderer Berücksichtigung von Informationstechnologie und Digitaler Fabrik*.
ISBN 3-930429-59-4 (2004)

Band 31 Fischer, Nikolaus: *Messungen geringster organischer Belegungen auf diffus reflektierenden Oberflächen mit einem mIR-faseroptischen Prüfkopf.*
ISBN 3-930429-60-8 (2005)

Band 32 Bernardi, Markus: *Gestaltung eines mechatronikorientierten Entwicklungsprozesses für mobile Arbeitsmaschinen und des dazugehörigen Entwicklungsumfeldes.*
ISBN 3-930429-61-6 (2005)

Band 33 Ryu, Shi-Bok: *Development of a Microklystrode Vacuum Tube: A Focus on the Improvement of Modeling and Manufacturing Processes*.
ISBN 3-930429-62-4 (2005)

Band 34 Vielhaber, Michael: *Zusammenbauorientiertes Konstruieren im Produktentstehungsprozess der Automobilindustrie am besonderen Beispiel des Karosserierohbaus*.
ISBN 3-930429-63-2 (2005)

Band 35 Steinbach, Michael: *Systematische Gestaltung von Product-Service Systems*.
ISBN 3-930429-64-0 (2005)

Band 36 Blumenau, Jean-Claude: *Lean Planning unter besonderer Berücksichtigung der Skalierung wandlungsfähiger Produktionssysteme*.
ISBN 3-930429-65-9 (2006)

Band 37 Zenner, Christian: *Durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung.*
ISBN 3-930429-66-7 (2006)

Band 38 Bossmann, Marc: *Feature-basierte Produkt- und Prozessmodelle in der integrierten Produktentstehung.*
ISBN 978-3-930429-67-7 (2007)

Band 39 Deubel, Till: *Anforderungs-, kosten- und wertgetriebene Steuerung des Produktentwicklungsprozesses.*
ISBN 978-3-930429-68-4 (2007)

Band 40 Oberhausen, Michael: *Der Einsatz laserinduzierter Fluoreszenzmessungen zur Detektion geringster organischer Belegungen auf Oberflächen.*
ISBN 978-3-930429-69-1 (2007)

Band 41 Fritz, Jürgen Ulrich: *Zielführende Modellierung und Analyse schlanker Fertigungssysteme mit der Digitalen Fabrik.*
ISBN 978-3-930429-70-7 (2007)

Band 42 Müller, Marco: *Reifegradbasierte Optimierung von Entwicklungsprozessen am besonderen Beispiel der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie.*
ISBN 978-3-930429-71-4 (2007)

Band 43 Kiefer, Jens: *Mechatronikorientierte Planung automatisierter Fertigungszellen im Bereich Karosserierohbau.*
ISBN 978-3-930429-72-1 (2007)

Band 44 Burr, Holger: *Informationsmanagement an der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktionsplanung im Karosserierohbau.*
ISBN 978-3-930429-73-8 (2008)

Band 45 Köhler, Christian: *Technische Produktänderungen – Analyse und Beurteilung von Lösungsmöglichkeiten auf Basis einer Erweiterung des CPM/PDD-Ansatzes.*
ISBN 978-3-930429-74-5 (2009)

Band 46 Weyand, Lars: *Risikoreduzierte Endmontageplanung am Beispiel der Automobilindustrie.*
ISBN 978-3-930429-75-2 (2010)

Band 47 Schilke, Martin: *Einsatz von Produktdatenmanagement-Systemen im Sondermaschinenbau für die Automobilindustrie.*
ISBN 978-3-930429-76-9 (2010)

Band 48 Wanke, Sören: *Neue Konzepte zur Verwaltung und Bereitstellung von Lösungen im Produktentwicklungsprozess – CPM/PDD-Lösungsmuster als Grundlage eines verhaltensbeschreibenden Lösungskataloges.*
ISBN 978-3-930429-77-6 (2010)